

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Infotehnoloogia teaduskond

Eva Lastik 222415IAIB

Karol Törmikoski 22622IAIB

Veebirakendus lugemisoskuse arendamiseks

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Einar Meister

PhD

Tallinn 2025

Autorideklaratsioon

Kinnitame, et oleme koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autorid: Eva Lastik ja Karol Törmikoski

03.06.2025

Annotatsioon

Käesolev bakalaureusetöö keskendub veebipõhise rakenduse arendamisele, mille eesmärk on toetada algklasside õpilaste suulise lugemisoskuse kujunemist. Rakendus võimaldab lastel harjutada ettelugemist kohandatavas keskkonnas ning saada automaatset tagasisidet lugemiskiiruse ja soravuse kohta.

Töö keskmes on rakenduse funktsionaalsuse kavandamine, arendus ning esmase kasutatavuse testimine koolikeskkonnas. Teoreetilises osas käsitletakse lugemisoskuse arengut, ettelugemise hindamise metoodikaid ning digitehnoloogiate kasutust lugemisõppes. Rakendus ühendab kõnetehnoloogilised lahendused, nagu silbitamine ja kõnesüntees, ning toetab õpetajat harjutuste loomisel ja õpilaste edasimineku jälgimisel. Õppijad saavad kohandada lugemisharjutuse esitusviisi, sealhulgas kirjastiili, tähesuurust, silbitust, pilgujuhtimise kiirust ja lugemismeetodit.

Rakenduse valideerimine viidi läbi neljas üldhariduskoolis koostöös õpetajate ja õpilastega. Tagasiside põhjal sobib rakendus eelkõige individuaalseks või väiksemates rühmades toimuvaks õppeks. Töö tulemused näitavad, et rakendus vastab püstitatud eesmärkidele ning loob tugeva aluse edasiseks arenduseks. Tulevikus nähakse võimalusi lisada tekstimõistmise ja hääldustäpsuse hindamise funktsionaalsus ning panustada eestikeelse laste kõnekorpus arendamisse.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 45 leheküljel, 7 peatükki, 15 joonist.

Abstract

Web Application for Enhancing Reading Proficiency

This bachelor's thesis presents the development of a web-based application aimed at supporting the development of oral reading fluency among primary school pupils. The application enables children to practice reading aloud in a visually adjustable environment and provides automatic feedback on reading speed and fluency. The work explores the foundations of reading development, fluency assessment methodologies, and digital approaches that enhance learning in early education.

The system integrates speech processing technologies such as syllabification and speech synthesis, and supports teacher-driven content creation, student monitoring, and feedback delivery. The reading experience can be customized based on learner needs, including options for font style and size, syllable display, letter case, and reading method (e.g., karaoke or synchronized reading).

Validation was conducted in four general education schools in collaboration with teachers and pupils. Feedback gathered through observations and structured questionnaires indicates that the application is clear, engaging, and particularly suited for younger learners in guided or small-group reading practice. Teachers highlighted its potential for supporting repeated reading, independent training, and differentiated instruction.

The thesis concludes that the developed application meets its objectives and offers a solid basis for further development. Future directions may include the addition of comprehension-focused features, refinement of speech feedback mechanisms, along with the implementation of features for assessing reading accuracy. The application also holds potential to contribute to the creation of Estonian child speech corpora and the development of local language technology resources.

The thesis is in Estonian and contains 45 pages of text, 7 chapters, 15 figures.

Lühendite ja mõistete sõnastik

API	rakendusliides (<i>Application Programming Interface</i>)
Artikulationitempo (Ra)	artikulationitempo väljendab ainult räägitud osa kiirust, jättes pausid arvestamata
ASR	automaatne kõnetuvastus, mis teisendab kõne tekstiks (<i>Automatic Speech Recognition</i>)
CEFR	Euroopa keeleõppe raamistik (<i>Common European Framework of Reference for Languages</i>)
DTO	andmevahetuse objekt (<i>Data Transfer Object</i>)
Düsleksia	neurobioloogiline arenguhäire, mida iseloomustab raskendatud tähe- ja sõnatuvastus, kehv õigekiri ja lugemisarengu aeglus
EstNLTK	eesti keele töötluste teek, mis võimaldab morfoloogilist ja süntaktilist analüüsi
<i>Forced alignment</i>	automaatne kõnetehnoloogiline protsess, mille käigus joondatakse kirjalik tekst vastava helifailiga ajaliselt, et määrata, millisel ajahetkel iga sõna, silp või foneem kõlab
GDPR	Euroopa Liidu isikuandmete kaitse üldmäärus (<i>General Data Protection Regulation</i>)
HEV	hariduslike erivajadustega (õppijad)
JSON	lihtsustatud andmevahetusvorming (<i>JavaScript Object Notation</i>)
JWT	autentimisvõti, mida kasutatakse veebirakendustes turvaliseks ligipääsuks (<i>JSON Web Token</i>)
Karaokelugemine	lugemisharjutuse meetod, kus õppija loeb teksti koos nähtava etaloniga
Keeletehnoloogia	tehisintellekti valdkond, mis keskendub inimkeele masinatele arusaadavaks muutmisele
Kõnetehnoloogia	keskendub inimeste kõneldud keele automaatsele tuvastamisele, analüüsile ja mõistmisele
Kõnesoravus	suulise kõne sujuvus, loomulikkus ja katkestusteta voolavus
Kõnetempo (Rs)	kõnes edastatud sõnade hulk ajaühikus, arvestades ka pause (<i>speech rate</i>)

Levenšteini kaugus	meetod, mis mõõdab kahe tekstistringi erinevust märkide lisamise, kustutamise või asendamise teel (<i>Levenshtein distance</i>)
Lugemisujuvus	lugemise kiirus, täpsus ja väljendusrikkus (<i>reading fluency</i>)
Morfeem	väikseim tähendust omav keeleüksus, näiteks sõnas „kalamees” kaks morfeemi: „kala” ja „mees”
Prosoodia	kõne rütm, intonatsioon ja meloodia, mis toetavad mõistetavust ja väljendusjõudu
<i>Repeated Reading</i> tehnika	lugemismeetod, kus õppija loeb sama teksti korduvalt eesmärgiga suurendada sõnatundmist ja parandada soravust (<i>Repeated Reading</i>)
Silp	kõne rütmiline ühik, mis sisaldab ühte/kahte vokaal ja/või kaashäälikuühendit
SPA	üheleheline veebirakendus (<i>Single Page Application</i>)
SRM	tööriist, mis hindab automaatselt kõnetempot (<i>Speech Rate Meter</i>)
Sünkroonlugemine	lugemistehnika, kus tekst loetakse samaaegselt sünteeshäälega, hoides sama tempot ja intonatsiooni (<i>synchronized reading</i>)
TTS	tehnoloogia, mis muudab kirjaliku teksti kuuldavaks kõneks (<i>Text-to-Speech</i>)
WCPM	õigesti loetud sõnade arv minutis (<i>Words Correct Per Minute</i>)

Sisukord

1	Sissejuhatus.....	11
1.1	Probleem	11
1.2	Eesmärk.....	12
1.3	Töö ülesehitus	12
2	Teoreetiline taust	13
2.1	Lugemisoskuse tähendus ja areng	13
2.2	Lugemiraskused ja nende mõju	13
2.3	Lugemissujuvus ja prosoodia.....	14
2.4	Lugemissujuvuse arendamine ja hindamine.....	15
2.5	Digitaalsed ja tehnoloogiapõhised lahendused	15
2.6	Olemasolevad rakendused ja tööriistad	16
2.6.1	Eesti keelele suunatud rakendused.....	16
2.6.2	Rahvusvahelised tehnoloogiapõhised hindamissüsteemid.....	17
3	Metoodika.....	19
3.1	Arenduse eesmärgid ja valideerimise fookus	19
3.2	Arendusprotsess.....	20
3.2.1	Arendusetapid.....	20
3.2.2	Töövahendid ja keskkonnad	21
3.3	Valideerimisprotsess ja kasutajauuringud	21
3.3.1	Osalejad ja kontekst.....	22
3.3.2	Andmekogumise viisid	22
3.3.3	Valideerimise eesmärk ja oodatav tulemus.....	23
3.4	Eetilised kaalutlused ja andmekaitse.....	23
3.4.1	Osalejate valik ja informeeritud nõusolek.....	24
3.4.2	Andmete pseudonüümiseerimine ja kaitse	24
3.4.3	Helisalvestiste töötlemine ja säilitamine	24
3.4.4	Helisalvestiste teaduslik kasutus.....	25

4	Rakenduse arendus ja teostus	26
4.1	Süsteemi arhitektuur.....	26
4.2	Kasutatud tehnoloogiad	27
4.3	Turvalisus	28
4.4	Disainivalikud lugemiskogemuse individuaalsete vajaduste toetamiseks	29
4.4.1	Teksti kohandamise valikud	30
4.4.2	Lugemismeetodid: Karaoke ja Sünkroonlugemine	31
4.5	Rakenduse funktsionaalsused ja kasutajate rollid	32
4.5.1	Üldised funktsionaalsused	32
4.5.2	Õpetaja roll ja funktsionaalsused	33
4.5.3	Õpilase roll.....	37
4.5.4	Lapsevanema ligipääs	38
4.5.5	Administraatori roll	39
4.6	Teksti raskusastme määramise algoritm ja selle rakendamine	39
4.7	Kõnetempo ja lugemissoravuse hindamise metoodika.....	40
4.7.1	Kõnetempo hindamise algoritm	41
4.7.2	Lugemissoravuse hindamise algoritm	41
4.7.3	Tulemuste kuvamine õppijale.....	42
4.8	Tehnoloogiate katsetamine	43
4.8.1	SylNet	43
4.8.2	Speech Rate Meter (SRM).....	44
4.8.3	Kõnetuvastus ja täpsuse hindamise katsed	45
5	Tulemused ja analüüs	46
5.1	Osalejad ja testimiskeskkond	46
5.2	Kasutajate tagasiside rakendusele	46
5.2.1	Üldmulje ja funktsionaalsus	47
5.2.2	Kasulikkus ja sobivus sihtrühmale	47
5.2.3	Õpetajate sisuline tagasiside ja ettepanekud	48
5.2.4	Tähelepanekud õpilaste kasutajakogemuse kohta	50
5.3	Ekspertarvamus	51
6	Edasiarendusvõimalused	52
6.1	Kasutajate tagasisidel põhinevad parendusettepanekud	52

6.2 Arendustiimi plaanitavad parendused ja visioon	53
7 Kokkuvõte	55
Kasutatud kirjandus	56
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	60
Lisa 2 – Rakenduse vaated	61
Lisa 3 – TA projekti eetikahinnang	68
Lisa 4 – Lapsevanema nõusolekuvorm	69
Lisa 5 – Andmehaldusplaan	71
Lisa 6 – Tagasisideküsimustik	80
Lisa 7 – Ekspertarvamus	81
Lisa 8 – API lõpp-punktid	82

Jooniste loetelu

Joonis 1. Süsteemi arhitektuur.	27
Joonis 2. Andmebaasiskeem.	28
Joonis 3. Teksti kohandamise näited: (a) OpenDyslexic, silbitamata, trükitähed, (b) Montserrat, silbitamata, kirjatähed, (c) Roboto, silbitatud, kirjatähed, (d) Lato, silbitatud, trükitähed.	31
Joonis 4. Rakenduse avaleht.	33
Joonis 5. Rakenduse õpetaja töölaua vaade.	34
Joonis 6. Rakenduse õpilase konto vaade.	34
Joonis 7. Rakenduses harjutuse lisamise automaatne hindamine.	35
Joonis 8. Rakenduses harjutuste haldamise vaade.	36
Joonis 9. Rakenduses lugemiku kopeerimine.	36
Joonis 10. Rakenduse õpilase statistika vaade.	37
Joonis 11. Rakenduse harjutuse sooritamise vaade sünkroonlugemisega.	38
Joonis 12. Rakenduse ligipääsu taotlemise vaade.	38
Joonis 13. Rakenduse harjutuse vaade koos tulemusega.	43

1 Sissejuhatus

Lugemisoskus on alushariduse oluline osa, mis mõjutab lapse õppimisvõimet ja akadeemilist edukust [1]. Sujuv lugemine varases koolieas toetab teadmiste omandamist, keelelist eneseväljendust, mõtlemist ja sotsiaalset suhtlust [2]. Paljudel lastel esinevad siiski raskused, nagu aeglane lugemistempo või loetust arusaamise puudumine [3].

Viimaste aastate digitaalsed lahendused ja keeletehnoloogia areng on loonud uusi võimalusi lugemisoskuse arendamiseks, sealhulgas interaktiivsed ja kohandatud õppimisvahendid [4]. Üha suuremat huvi on pälvinud automaatsed ettelugemise hindamise süsteemid, mis kasutavad kõnetuvastuse ja akustilise analüüsi tehnoloogiaid, et pakkuda õppijale objektiivset ja reaajas tagasisidet lugemissujuvuse kohta [5]. Eesti keele õppes on selliste tehnoloogiate rakendamine aga alles algusjärgus ning vajab kohalikke lahendusi.

1.1 Probleem

Traditsioonilised lugemisoskuse hindamise meetodid, mille keskmes on õpetaja või logopeedi otsene jälgimine, on küll sisukad, kuid samas ajamahukad, subjektiivsed ning ei toeta hästi õppija iseseisvat arengut [6]. Need meetodid ei võimalda koguda dünaamilist infot õppija edenemise kohta ning pole skaleeritavad suurematele kasutajagruppidele. Lisaks võib õppijale formaalne testisituatsioon mõjuda pingeliselt, mis ei pruugi peegeldada tema tegelikku lugemisvõimet.

Erilist tähelepanu vajavad lapsed, kellel on suurem risk lugemisraskuste kujunemiseks – näiteks emakeelena eesti keelt mitte kõnelevad lapsed, düsleksiaga õpilased või need, kelle kodune keskkond ei toeta lugemispraktikat. Uuringud on näidanud, et kehv kodune lugemiskeskkond, piiratud kokkupuude tekstidega ning vanemate vähene lugemisharjumus võivad oluliselt suurendada lugemisraskuste, sealhulgas düsleksia, tekkimise riski [7].

Praegu puudub laiemalt kättesaadav eestikeelne rakendus, mis võimaldaks lastel treenida suulist ettelugemist koos automaatse tagasisidega. Olemasolevad lahendused on kas

piiratud funktsionaalsusega, tehniliselt ebastabiilsed või pole sobitatud eesti keelele ja selle eripäradele.

1.2 Eesmärk

Käesoleva töö eesmärk on arendada veebipõhine rakendus, mis toetab algklasside õpilaste, eesti keele õppijate ning logopeedilist tuge vajavate laste lugemisoskuse arengut. Rakendus võimaldab harjutada suulist ettelugemist ja saada automaatset, objektiivset tagasisidet kõnetempo ja lugemissoravuse kohta. Arendatav lahendus pakub isikupärastatud õpikogemust, võimaldades kasutajatel kohandada lugemisharjutuste seadeid vastavalt oma vajadustele ja eelistustele, näiteks valides sobiva raskusastme, teksti kuvamise viisi või lugemistempo.

Rakenduse disain lähtub õppijakesksest ja motiveerivast lähenemisest, kus interaktiivne tagasisidemehhanism toetab aktiivset osalemist ning õpioskuste järjepidevat arengut. Lisaks sujuva ettelugemise harjutamisele toetab rakendus erinevaid lugemismeetodeid, sealhulgas karaokelugemist ja sünkroonlugemist, pakkudes õppijale võimalust kohandada lugemistempot vastavalt oma oskustele ja vajadustele.

Töö eesmärk ei ole luua üksnes hindamisvahend, vaid kujundada terviklik õppimist toetav keskkond, mis soodustab lugemisoskuse arendamist, arvestades individuaalseid õpivajadusi ja arengut.

1.3 Töö ülesehitus

Töö esimeses osas käsitletakse teoreetilist tausta: lugemisoskuse arengut, lugemiskeskuste olemust, suulise ettelugemise sujuvuse hindamise ja arendamise teaduslikke aluseid. Samuti vaadeldakse olemasolevaid tehnoloogiapõhiseid rakendusi ning kõnetehnoloogia võimalusi hariduses. Seejärel kirjeldatakse töö metoodikat, sealhulgas rakenduse arendusprotsessi, kasutatavaid tööriistu ja valideerimismeetodeid. Edasi tutvustatakse loodud rakenduse funktsionaalsust, kasutusloogikat ja kasutajaliidest. Töö lõpuosas esitatakse empiirilised tulemused ning nende analüüs.

2 Teoreetiline taust

Lugemisoskuse kujunemine sõltub mitmest keelelisest ja kognitiivsest tegurist ning selle arendamisel on oluline roll õpetamisstrateegiatel [1]. Käesolevas peatükis käsitletakse lugemisoskuse arengut, võimalikke raskusi, sujuva ettelugemise ja prosoodia olulisust ning tehnoloogiapõhiseid lahendusi lugemisoskuse toetamisel.

2.1 Lugemisoskuse tähendus ja areng

Lugemisoskuse omandamine on üks olulisemaid arenguetappe algkoolieas, mõjutades lapse õpiedukust kõigis teistes õppeainetes. Lugemisoskus ei piirdu pelgalt tehnilise dekodeerimisvõimega, vaid hõlmab keerulist protsessi, mis koosneb sõnade äratundmisest, mõistmisest ja suulisest väljendusest. Lugemistehniline oskus on selle arengu esimene aste, keskendudes tähtede, silpide ja sõnade täpsele ning ladusale äratundmisele. Sujuv sõnatuvastus loob aluse hilisemale mõistvale lugemisele. Oluline roll on fonoloogilisel teadlikkusel – võimel eristada, töödelda ja manipuleerida keele väiksemaid üksusi, nagu foneeme, silpe ja morfeeme. See oskus on eriti tähtis keele omandamise varajases faasis ning peaks olema hästi struktureeritud ja järjepideva lugemisõpetuse keskmes [1], [8].

Esimestel kooliaastatel on lugemisoskuse arendamisel keskne roll õpetajal, kes peab looma süsteemse ja järjepideva metoodika. Õpetamisstrateegiad, mis keskenduvad individuaalsele juhendamisele ja kordamisele, on näidanud olulisi positiivseid tulemusi. Näiteks uuring, mis hõlmas individuaalset lugemisõpetust esimese kuni kolmanda klassi õpilastele, tõestas, et personaliseeritud lähenemine parandab lugemisoskust ning toetab lapse üldist kognitiivset arengut [9].

2.2 Lugemiskused ja nende mõju

Paljudel algkooliealistel lastel ilmnevad lugemiskused, mis takistavad sujuva ettelugemise ja tekstimõistmise arengut. Levinumateks põhjusteks on foneemiteadlikkuse puudujäägid,

aeglane dekodeerimine, vähene kokkupuude keelega ning düsleksia – neurobioloogiline arenguhäire, mis avaldub raskustena täpsel ja/või sujuval sõna äratundmisel, õigekirjas ning dekodeerimisel, hoolimata tavapärasest intellektist ja piisavatest õppimisvõimalustest [10]. Need raskused võivad väljenduda lugemise aegluses, madalas täpsuses või raskustes loetust arusaamisel. Oluline on märkida, et sellised probleemid ei tulene enamasti lapse üldisest kognitiivsest võimekusest, vaid spetsiifilistest keele- ja kõneoskuslikest eripäradest [3].

Uurimused on näidanud, et õpilasi on võimalik jagada lugemisprofiilide alusel alarühmadesse, millest kõige keerukamaks osutuvad aeglased dekodeerijad. Just selle rühma puhul võivad traditsioonilised testid olla ebatäpsed, kuna need ei kajasta õppija tegelikku potentsiaali pikema aja jooksul. See rõhutab vajadust selliste hindamismeetodite järele, mis võimaldavad jälgida lugemisoskuse arengut dünaamiliselt, mitte pelgalt ühekordsete testide kaudu. Sellised meetodid on eriti vajalikud rakendustes, mille sihtrühmaks on lugemisraskustega õppijad [3].

Lugemisoskus mõjutab oluliselt õpilaste edasisi õpitulemusi kõigis õppeainetes. Uuringud on näidanud, et õpilased, kes omandavad varakult tugeva lugemistehnilise aluse, saavutavad hiljem paremaid tulemusi nii tekstimõistmises kui ka üldises akadeemilises edukuses [2]. Samuti on leitud, et õpetajate teadlikkus ning oskus kohandada õpetamisstrateegiaid vastavalt õpilaste individuaalsetele vajadustele aitab oluliselt kaasa lugemisoskuse arengule [11].

2.3 Lugemissujuvus ja prosoodia

Lugemissujuvus, mida sageli mõõdetakse näitajaga WCPM (*words correct per minute*), on lugemisoskuse keskne komponent. See kajastab õppija võimet lugeda teksti valjusti, kiiresti, täpselt ja väljendusrikkalt. Sujuv lugemine on oluline, kuna see vabastab kognitiivseid ressursse mõistmisprotsessi jaoks. Kui kogu tähelepanu kulub sõnade dešifreerimisele, jääb vähem ruumi loetust arusaamiseks [4].

Lisaks kiirusele ja täpsusele mängib lugemissujuvuse juures olulist rolli ka prosoodia – lugeja oskus kasutada loomulikku kõnemeloodiat, pauside pikkust, kõnetempot ja intonatsiooni. Prosoodiline lugemine ei ole oluline ainult kuulaja jaoks, vaid aitab kaasa ka

lugeja endapoolsele tekstimõistmisele [3], [6]. Just seetõttu käsitletakse sujuvat ettelugemist üha enam mitte ainult tehnilise oskusena, vaid ka keelelise väljendusoskuse ilminguna [12].

Uuringute ülevaade näitab, et sujuva lugemise arendamisel on kõige tõhusamad just juhendatud ja mudeldatud lugemistehnikad. Korduv lugemine koos õpetaja või eakaaslase jäljendamise ja juhendamisega parandab märkimisväärselt laste lugemiskiirust, -täpsust ja -mõistmist. Lisaks osutusid eriti tulemuslikeks assisteeritud lugemisviisid (nt audio ja teksti kombineerimine) ning tegevuspõhised lähenemised nagu luuletuste esitamine või dramatiseerimine [13].

2.4 Lugemissujuvuse arendamine ja hindamine

Uuringud on näidanud, et lugemissujuvust saab tõhusalt arendada korduva ettelugemise (*Repeated Reading*) tehnika abil, kus õppija loeb sama teksti mitmel korral, sageli koos täiskasvanud ettelugeja või helisalvestisega. Läbivaks eesmärgiks on harjutada automaatset sõna äratundmist, mille kaudu kujuneb latus ettelugemine [14]. Sellist lähenemist saab edukalt integreerida digirakendusse, mis pakub automaatset tagasisidet ja jälgib edenemist.

Viimastel aastatel on märgatavalt kasvanud huvi tehnoloogiapõhiste hindamismeetodite vastu, mis võimaldavad koguda andmeid lugemiskiiruse, sõnatäpsuse ja isegi prosoodia kohta. Uuringud on näidanud, et üksikust testist saadud WCPM väärtus ei pruugi kajastada lapse tegelikku lugemisvõimet. Lugemissujuvuse hindamiseks sobib paremini dünaamiline lähenemine, kus kogutakse andmeid mitme tekstiga mitme ajaperioodi jooksul. Nii saab hinnata arengut, mitte ainult hetkeseisu [15].

2.5 Digitaalsed ja tehnoloogiapõhised lahendused

Lugemissujuvuse hindamine on traditsiooniliselt toimunud õpetaja või logopeedi vahetu jälgimise kaudu. Selline meetod võimaldab küll kohest ja kvalitatiivset hinnangut, ent sellel on ka olulisi piiranguid: subjektiivsus, ajamahukus ja vähene mõõdetavus. Viimase kümnendi jooksul on aga märkimisväärselt kasvanud huvi automaatsete hindamisvahendite vastu, mis võimaldavad ettelugemise täpset, objektiivset ja dünaamilist analüüsi [4].

Üks esimesi laiemalt kasutusele võetud automaatseid kõne hindamissüsteeme oli FLORA (*Fluency-Oriented Reading Assessment*), mis võimaldas hinnata laste etteloetud teksti kõnetuvastuse abil ning arvutada WCPM väärtusi minimaalse veaga võrreldes inimhindajate tulemustega [5]. Sarnast funktsionaalsust pakub ka rakendus Moby.Read¹, kus lapsed sooritavad ettelugemisi iseseisvalt tahvelarvutis ning saavad automaatselt tagasisidet oma lugemisoskuse kohta [16]. Mõlemas süsteemis tuvastati, et automaatne hindamine korreleerub tugevalt inimhindajate ja ametlike testide tulemustega.

Automaatne hindamine muutub eriti väärtuslikuks siis, kui see toimub loomulikus kontekstis, mitte ainult formaalses testikeskkonnas. Näiteks Relay Reader^{TM2} rakenduse kaudu kogutud andmete põhjal oli võimalik jälgida lugemissujuvuse arengut isegi mürarikas keskkonnas, näidates keskmiselt 1,3 sõna-minutis paranemist iga loetud peatüki kohta [4]. Sellised tulemused viitavad, et digitaalsed hindamisvahendid võivad olla mitte ainult alternatiiviks, vaid ka täienduseks traditsioonilistele hindamismeetoditele, eriti olukordades, kus õppijaid on palju või juhendaja ressursid piiratud.

2.6 Olemasolevad rakendused ja tööriistad

Lisaks teoreetilisele ja metoodilisele raamistikule on käesoleva töö käigus analüüsitud ja katsetatud mitmeid olemasolevaid digirakendusi ja tehnoloogilisi lahendusi, mis on loodud lugemisoskuse hindamiseks või arendamiseks.

Käsitletavad tööriistad jagunevad kahte rühma: Eestis loodud või eestikeelsele sihtrühmale kohandatud rakendused ning rahvusvahelisi lahendused, mida on testitud või mida käsitletud teaduskirjanduses.

2.6.1 Eesti keelele suunatud rakendused

Kõneravi.ee³ on Eesti logopeedidega koostöös loodud veebipõhine keskkond, mis pakub üle 100 interaktiivse harjutuse laste ja täiskasvanute kõne- ja keeleoskuse toetamiseks, hõlmates valdkondi nagu hääldamine, kõnetaju, sõnavara, grammatika, suhtlemine, lugemine ja kirjutamine [17]. Harjutusi saab kohandada vastavalt kasutaja vanusele, tasemele ja

¹<https://www.mobyread.com/>

²<https://relayreader.org/app>

³<https://koneravi.ee/>

vajadustele ning neid kasutatakse nii haridusasutustes kui ka kodus. Keskkond ei toeta kõne salvestamist ning seetõttu puudub ka automaatne tagasiside kasutaja suulise soorituse kohta.

Kiirlugemise rakendus⁴, loodud Tartu Ülikoolis, on mõeldud täiskasvanutele ja lapsedele lugejatele, keskendudes eelkõige lugemiskiiruse ja mõistmise arendamisele [18]. Platvorm sisaldab visuaalseid harjutusi nagu pilgujuhtimine, sõnarühmade lugemine, vertikaalne lugemine ja kustuv tekst, ning võimaldab mõõta lugemiskiirust ja loetud teksti mõistmist valikvastustega testide abil.

Karaoke-stiilis lugemisrakendus valmis varasema bakalaureusetöö raames ning võimaldas lastel harjutada suulist lugemist visuaalse sõnajuhendamise ja ettelugemise abil [19]. Rakendus salvestas kasutajate loetud kõnet, võimaldas lisada harjutusi administraatori-vaates ning oli suunatud ka eestikeelse laste kõnekorpusse kogumisele. Lahenduse funktsionaalsus jäi siiski esialgseks – tekstide raskusastmete määramine tugines subjektiivsele hinnangule ning tagasiside piirdus eeldatava lugemiskiirusega. Rakendus ei ole hetkel aktiivses kasutuses ega avalikult kättesaadav.

Käesolevas töös loodav rakendus arendab seda ideed edasi, pakkudes kohandatavat visuaalset esitust ning funktsionaalsust, kus lugemiskiirus arvutatakse tegelikult loetud helisalvestise ja tekstis olevate silpide arvu põhjal, eemaldades seejuures algus- ja lõpp-pausid. Kuigi süsteem ei kasuta veel täismahus helialalüüsi, võimaldab see usaldusväärsemat ja kohandatavat tagasisidet erinevatele kasutajarühmadele.

2.6.2 Rahvusvahelised tehnoloogiapõhised hindamissüsteemid

Üheks täpse lugemishindamise suunaks on ajajoondustehnikal (*forced alignment*) põhinevad lahendused, mis seovad etteloetud kõne ajaliselts vastava tekstiga ning tuvastavad sõnalise sobivuse, pausid ja vead. Sellist lähenemist rakendavad näiteks SoapBox Fluency ja Marek Nagy loodud hindamissüsteem Slovakkias.

SoapBox Fluency on pilvepõhine API-teenus, mis võimaldab hinnata laste suulist lugemisoskust reaajas automaatse kõnetuvastuse abil. Süsteem kasutab laste kõnekorpusel treenitud akustilisi mudeleid, et võrrelda õpilase etteloetud heli automaatselt transkribeeritud

⁴<https://kiirlugemine.keeleressursid.ee/>

versiooni originaaltekstiga. Hinnang põhineb neljal põhimõõdikul: õigesti loetud sõnad (*correct*), asendatud sõnad (*substitution*), lisatud sõnad (*insertion*) ning vahelejätmised (*deletion*). Tulemused esitatakse struktureeritud JSON-vormingus, mida saab kasutada õppijale visuaalse tagasiside kuvamiseks [20].

Sarnaselt rakendab **Marek Nagy** välja töötatud süsteem ajajoondusel põhinevat hindamisraamistikku, kuid rõhuasetusega lugemiskustega laste individuaalsel jälgimisel ja arengu hindamisel. Süsteem arvutab lisaks kõnetempole ja lugemistäpsusele ka artikulatsioonikiirust (räägitud sõnade arv ilma pausideta) ning soravust, mis väljendab sujuvalt hääldatud kõne osakaalu. Ebatäpsuste või katkestustega lugemiste korral suunatakse õpilane harjutust kordama. Süsteem arvestab lastel sageli esinevaid vigu nagu silbitamine, kordamine või sõnade vahelejätkmine. Tagasiside kujuneb automaatselt ja visualiseeritult, põhinedes andmetel, mida võrreldakse õppija varasemate tulemustega [21].

Mõlemad lahendused kasutavad sarnast ajajoondusel põhinevat meetodikat, kuid tuginevad keeleliselt üks inglise- ja teine slovakeelsele andmestikele.

Selleks, et ajajoondusel põhinev hindamismetoodika töötaks lastega usaldusväärselt, on vaja spetsiaalselt laste kõnel treenitud kõnekorpus, kuna täiskasvanute kõnemudelite kasutamine põhjustaks märgatavat täpsuslangust ning eksitavaid tulemusi [22], [23].

GARY (*Gaze And Read it Yourself*) on lugemisabivahend, mis ühendab silmajälgimise ja inimehalel põhineva ettelugemise, et toetada lugemiskustega laste tekstimõistmist. Süsteemi põhimõte on lihtne: ettelugemine toimub ainult siis, kui lugeja jälgib parajasti teksti. Pilgust kõrvalekaldumisel ettelugemine peatub, võimaldades paremat keskendumist ja kuulda ning nähtava sisendi integreerimist [24].

GARY tugineb kolmel põhilisel disainiprintsiibil: visuaalse ja auditivse sisendi sünkroniseerimine, pilgupõhine juhtimine ning individuaalse lugemiskiiruse arvestamine. Erinevalt paljudest TTS-süsteemidest kasutab GARY eelsalvestatud inimehalel, mis teeb ettelugemise loomulikumaks ja paremini jälgitavaks. Lisaks kuvatakse tekst suure, selge fondiga ja lause kaupa – kooskõlas düsleksiaga laste vajadustega. Uuring 8–10-aastaste lastega näitas, et düsleksiaga laste tekstimõistmine paranes GARY kasutamisel keskmiselt 24% võrreldes tavapärase ettelugemissüsteemiga. Süsteem töötati välja ja katsetati Itaalias ning kasutab itaalia keelt [24].

3 Metoodika

Selles peatükis antakse ülevaade lugemisrakenduse arenduse ja valideerimise metoodikast. Kirjeldatakse arendusprotsessi eesmärgi, kasutatud tehnilisi vahendeid ning põhimõtteid, mille alusel rakendus kavandati, realiseeriti ja testiti. Selgitatakse, milliseid meetodeid rakendati süsteemi funktsionaalsuse ja sobivuse hindamiseks ning kuidas arenduse käigus tagati lahenduse usaldusväärsus, kasutusmugavus ja andmekaitse.

3.1 Arenduse eesmärgid ja valideerimise fookus

Lõputöö eesmärk on arendada veebipõhine lugemisrakendus, mis toetab varases koolieas laste suulise lugemisoskuse kujunemist. Rakendus pakub õpetajatele võimalust luua isikupärastatud lugemisharjutusi, jälgida õpilaste edusamme ning pakkuda õppijatele kohest ja arusaadavat tagasisidet. Süsteem hõlmab mitut kasutajarolli ning toetab rollipõhist ligipääsu ja funktsionaalsust.

Arendustöö lähtub praktilisest eesmärgist luua hariduskeskkonnas kasutatav lahendus, mis vastab sihtrühma vajadustele ning võimaldab selle kasutatavust testida reaalses õppekeskkonnas. Kuigi arendusprotsess ei hõlmanud lõppkasutajate pidevat kaasamist arendustsükklitesse, kujundati rakenduse funktsionaalsus olemasoleva teaduskirjanduse, varasemate rakenduste analüüsi ja piiratud ulatuses kogutud kasutajate tagasiside põhjal.

Arenduse ja valideerimise fookuses olid järgmised eesmärgid:

- Luua õppijasõbralik ja visuaalselt toetav lugemiskeskond, mis motiveerib last harjutama;
- Arendada õpetajale töövahendid, mis võimaldavad isikupärastatud harjutuste koostamist ja tulemuste analüüsi;
- Rakendada automaatseid hindamismeetodeid (nt kõnetempo ja soravuse arvutamine), mis oleksid tähenduslikud, arusaadavad ja usaldusväärsed;
- Koguda ja analüüsida kasutajate (õpetajate ja õpilaste) tagasisidet, et hinnata

rakenduse kasutatavust, sobivust ja potentsiaalset mõju lugemisoskuse toetamisel.

Kokkuvõttes võimaldab testimine reaalses koolikeskkonnas saada esmase ülevaate rakenduse sobivusest, kasutusmugavusest ning võimalikest edasistest arendusvajadustest.

3.2 Arendusprotsess

Rakenduse loomisel lähtuti agiilsest tarkvaraarenduse metoodikast, täpsemalt Scrum-lähenemisest, mis võimaldas töötada etapiviisiliselt ja paindlikult. Arendustöö toimus kaheliikmelises tiimis, kus ülesannete ja töövoogude haldamiseks kasutati GitLabi projektihaldusvahendeid. Arendusprotsess jagunes kahenädalasteks sprintideks, mille jooksul keskenduti konkreetsete funktsionaalsuste kavandamisele, realiseerimisele ja testimisele.

Tiimisisene suhtlus toimus igapäevaste lühikeste töökoosolekute vormis, mille käigus jagati töö edenemise infot, planeeriti järgmisi tegevusi ning arutati esile kerkinud probleeme. Lisaks toimusid konsultatsioonid juhendajaga, mille käigus anti tagasisidet töö arengule ja tehnilistele valikutele. Arendusprotsessi käigus koguti ka esmast tagasisidet kasutajaliidese kohta, mis aitas hinnata selle kasutusloogikat ja teha vajadusel kohandusi. Tagasiside põhjal täiendati ja kohandati esialgseid disainilahendusi, et parandada kasutajakogemust ja tagada paremini sihtrühmale sobiv liides.

3.2.1 Arendusetapid

Arendusprotsess jagunes nelja põhietappi:

1. **Probleemianalüüs ja nõuete kaardistamine** – arendusprotsessi alguses analüüsiti sarnaste lahenduste piiranguid ning määratleti loodava süsteemi eesmärgid. Koostati esmane ülevaade funktsionaalsustest, kasutusstsenaariumitest ja sihtrühma vajadustest. Selle käigus defineeriti ka rakenduse peamised kasutajarollid – õpetaja, lapsevanem ja administraator.
2. **Disain ja prototüüpimine** – arendustöö varajases etapis loodi kasutajaliidese esialgsed prototüübid Figma keskkonnas ning kavandati rakenduse kasutusvood. Samuti määratleti süsteemi arhitektuurne ülesehitus, sealhulgas andmebaasi struktuur ja olulisemad seosed.

3. Tarkvara arendamine:

- **Eesrakendus:** Kasutajaliidese loomisel kasutati Vue.js raamistikku, eesmärgiga pakkuda dünaamilist, intuitiivset ja kasutajasõbralikku keskkonda.
- **Tagarakendus:** Äriloogika ja statistiliste funktsioonide realiseerimiseks töötati välja Spring Booti baasil Java tagarakendus.
- **Helianalüüsi tagarakendus:** Kõnetöötlustega seotud analüütiliste funktsioonide jaoks loodi eraldi Python Flaski rakendus, mis võimaldab töödelda lugemisharjutuste salvestisi.
- **Andmebaas:** Andmete salvestamiseks ja haldamiseks kasutati PostgreSQL-i andmebaasisüsteemi. Andmeskeemide haldus ja migratsioonid realiseeriti Liquibase'i tööriista abil.
- **Rakendusliideste integratsioon:** Python Flaski tagarakendusse integreeriti automaatse analüüsi tööriistad, mis võimaldavad mõõta lugemiskiirust ja kõnesujuvust. EstNLTK silbitustööriist [25] liideti otse moodulina serverirakendusse, samas kui Tartu Ülikooli kõnesünteesimootori (TÜ TTS) [26] funktsionaalsust kasutati spetsiaalselt arendatud API-liidese kaudu. Lisaks ühendati Sõnaveebi API [27], mille kaudu tuvastati lugemisteksti sõnade sagedused ja keeletasemed.

4. **Testimine ja täiustamine** – iga arendustsükli lõpus testiti valminud funktsionaalsust, korrigeeriti vigu ning viidi sisse kasutusmugavust parandavaid muudatusi.

3.2.2 Töövahendid ja keskkonnad

Arendustöökaks kasutati erinevaid töövahendeid ja keskkondi, mis toetasid meeskonnatööd, versioonihaldust, arendamist ja testimist. Täpsemat ülevaadet süsteemi arhitektuurist, kasutatud tehnoloogiatest ja disainivalikutest esitatakse peatükis 4. Rakenduse arendus ja teostus.

3.3 Valideerimisprotsess ja kasutajauuringud

Rakenduse valideerimise eesmärk on hinnata loodud süsteemi kasutusmugavust, funktsionaalsust ning sobivust sihtrühma vajadustega. Valideerimise fookus ei ole rakenduse mõju mõõtmisel lugemisoskuse arengule, vaid kasutajakogemuse ja praktilise sobivuse hindamisel hariduslikus kontekstis.

Valideerimine viidi läbi pärast arendustöö põhifaaside lõppu, keskendudes valminud rakenduse kasutusvõimaluste testimisele koolikeskkonnas. Erinevates koolides viidi kohapeal läbi demonstratsioone õpetajatele, mille käigus tutvustati rakenduse funktsionaalsust ja võimalikku kasutusloogikat. Seejärel said õpetajad proovida süsteemi iseseisvalt demokonto kaudu ning anda esmast tagasisidet.

3.3.1 Osalejad ja kontekst

Valideerimisprotsessi kaasati rakenduse eeldatavad lõppkasutajad – eelkõige algklassi-õpetajad, aga ka haridusspetsialistid, sh logopeed ja kaks eripedagoogi. Nendega viidi läbi individuaalsed vestlused, mille eesmärk oli mõista, kuidas rakendus võiks toetada erinevate õpilasrühmade, sealhulgas keeleõppijate ja erivajadustega laste arengut. Täpsem ülevaade osalejatest on esitatud peatükis 5. Tulemused ja analüüs.

Mõnes koolis kaasata ka õpilasi, kellele tutvustati rakendust klassis lühidalt ning kes said seda vabatahtlikkuse alusel proovida õpetaja juhendamisel. Testimine toimus spetsiaalse demoõpetaja konto alt, ilma andmete salvestuseta. Samal ajal viidi läbi vaatluspõhine hindamine ning küsiti lastelt suunatud küsimusi selle kohta, millised funktsioonid neile arusaadavad, huvitavad või raskesti mõistetavad tundusid.

Valideerimise käigus kasutatud lugemisharjutuste tekstid loodi töö autorite poolt OpenAI ChatGPT keelegeneraatori [28] abil. Tekstid genereeriti juhiste alusel, mis määrasid sobiva pikkuse, keelelise taseme ja temaatika. Kuna valideerimise eesmärk ei olnud hinnata tekstide pedagoogilist mõju, vaid rakenduse funktsionaalsust ja kasutusmugavust, kasutati tekste eelkõige rakenduse katsetamiseks.

3.3.2 Andmekogumise viisid

Andmete kogumiseks kasutati kombineeritud meetodeid, mis ühendasid nii vahetut suhtlust kui ka struktureeritud küsimustikku õpetajatele. Struktureeritud küsimustik sisaldas mitmeastmelisi skaalaküsimusi, millega hinnati rakenduse esmamuljet, funktsionaalsust, kasutusloogikat, sobivust erinevatele õppijatele ning potentsiaalset kasulikkust õpetaja igapäevatoös. Lisaks küsiti, kuivõrd võiks rakendus olla kasulik laiemale sihtrühmale (nt keeleõppijad, erivajadustega õppijad) ning kuidas nähakse rakenduse potentsiaali tulevikus.

Avatud vastuste väljad võimaldasid kasutajatel jagada oma kogemusi vabamas vormis, tuues esile positiivseid külgi, segadust tekitanud aspekte ja pakkudes ettepanekuid funktsioonide ja sisu parendamiseks.

Õpilaste kogemust hinnati peamiselt vaatluste ja vahetu suhtluse kaudu, keskendudes sellele, millised funktsioonid olid nende jaoks atraktiivsed või arusaamatud ning millised aspektid toetasid nende lugemismotivatsiooni ja kaasatust. Valideerimise käigus ei kogutud audiosalvestisi, kuna testimine toimus tutvustuse ja vabatahtliku kasutusproovi vormis.

3.3.3 Valideerimise eesmärk ja oodatav tulemus

Valideerimise tulemused aitavad hinnata rakenduse sobivust hariduslikuks kasutuseks ning annavad sisendit edasiseks arenduseks ja kohandamiseks. Samuti toovad tulemused esile rakenduse tugevused ja võimalikud kitsaskohad nii õpetajate kui ka õpilaste vaates.

Oluline on hinnata rakenduse kasutatavust ka laiemas hariduslikus kontekstis. Eri vaatenurkadest lähtuvalt võib see hõlmata näiteks eesti keelt teise keelena õppivate laste toetamist, erivajadustega õppijate individuaalsete vajaduste arvestamist ning võimalust rakendust kasutada koduse õppimise vahendina lapsevanema juhendamisel.

Lisaks annab valideerimine ülevaate rakenduse võimalikust potentsiaalist tulevikus, näiteks täiendavate lugemisoskuse hindamise tööriistade, personaliseeritud õppeteekondade või laiemas keeleõppe rakendamise toetamiseks.

Valideerimise tulemused ja analüüs on kokku võetud peatükis 5. Tulemused ja analüüs.

3.4 Eetilised kaalutlused ja andmekaitse

Rakenduse valideerimise käigus ei kogutud isikuandmeid sisaldavaid kõnesalvestisi, kuna testimine toimus tutvustava ja vaatluspõhise tegevusena. Küll aga on rakenduse kavandatud funktsionaalsuses ette nähtud võimalus koguda ja töödelda helisalvestisi, mis pärinevad laste loetud harjutustest. Seetõttu on projekti arendamisel arvestatud ka tundlike andmete kogumise, töötlemise ja kaitsega seotud eetiliste ja õiguslike põhimõtetega.

Tallinna Tehnikaülikooli akadeemiline eetikakomisjon on hinnanud projekti vastavust kehtivatele eetikanõuetele ning andnud ametliku heakskiidu uuringute läbiviimiseks (Lisa 3).

3.4.1 Osalejate valik ja informeeritud nõusolek

Valideerimisprotsessi kaasati vabatahtlikkuse alusel I kooliastme õpilasi koostöös õpetajatega. Kuna valideerimise käigus ei salvestatud helifaile ega kogutud tundlikke andmeid, ei olnud vajalik lapsevanema kirjalik nõusolek.

Tulevases rakenduse kasutuses, kus on ette nähtud helisalvestiste kogumine, lähtutakse informeeritud nõusoleku põhimõttest. Osalejate seaduslikele esindajatele tutvustatakse selgelt andmete kogumise eesmärki, töötlemise tingimusi ning nende õigusi. Vastav nõusolekuvorm on kooskõlas teadustöö hea tavaga ning lisatud eetika- taotluse dokumentatsioonile (Lisa 4).

3.4.2 Andmete pseudonüümiseerimine ja kaitse

Rakenduse tavakasutuse korral pseudonüümiseeritakse kõik potentsiaalselt isikut tuvastada võimaldavad andmed – igale kasutajale omistatakse unikaalne ID, mille kaudu salvestatud teavet ei saa otseselt seostada konkreetse isikuga. Isikuandmeid hoitakse turvalises, ligipääsupiirangutega keskkonnas vastavalt kehtivale andmehaldusplaanile ja andmekaitsemäärustele (Lisa 5).

3.4.3 Helisalvestiste töötlemine ja säilitamine

Rakenduse tavakasutuses võib kasutaja lugemisharjutuse lõpus genereerida helisalvestise, mida kasutatakse automaatseks lugemiskiiruse ja -soravuse hindamiseks. Kui lapsevanem pole andnud nõusolekut lapse kõne salvestamiseks, ei säilitata helifaile alaliselt – failid töödeldakse ajutiselt süsteemimälus ning kustutatakse automaatselt pärast sessiooni lõppu või hindamise teostamist.

Õpilasele on võimaldatud enda salvestise korduv kuulamine samas harjutuses, kuid see salvestis ei jää süsteemi püsivalt alles ega jõua andmebaasi.

3.4.4 Helisalvestiste teaduslik kasutus

Kui tulevikus soovitakse kasutada helisalvestisi teadusuuringute eesmärgil, näiteks eestikeelse kõnekorpuse täiendamiseks või lugemisoscuse automaatsete hindamisvahendite arendamiseks, kogutakse andmeid ainult informeeritud nõusoleku alusel ning rangelt vastavalt teadusuuringute eetika ja GDPR-i põhimõtetele.

Kõik teaduslikuks otstarbeks kogutavad andmed töödeldakse anonüümselt ja neid ei edastata kolmandatele osapooltele ega kasutata kommertseesmärkidel (Lisa 5).

4 Rakenduse arendus ja teostus

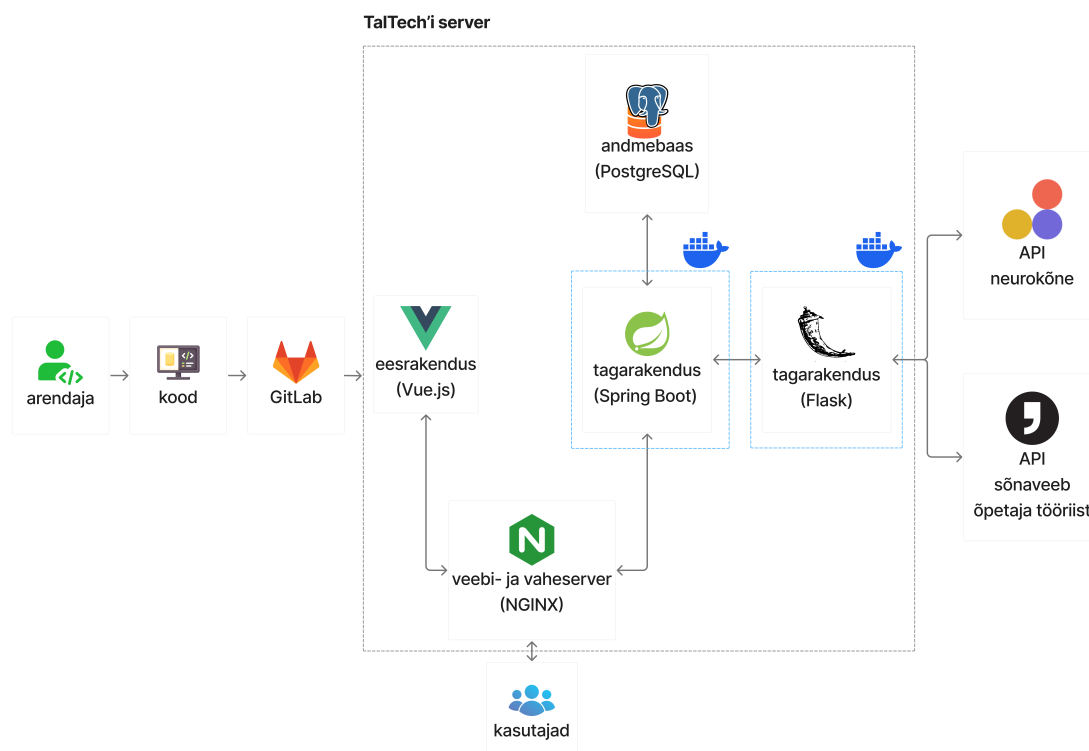
Arendatud süsteemi¹ eesmärgiks on pakkuda automatiseeritud ning kasutaja individuaalsetest vajadustest lähtuvalt tuge lugemisoskuse arendamiseks. Käesolev peatükk keskendub loodud rakenduse praktilisele teostusele ning tehnilistele valikutele. Käsitletakse süsteemi arhitektuurilist ülesehitust, selgitatakse rakenduses tehtud rollipõhist kasutajakogemust toetavaid disainivalikuid, tutvustatakse rakendusse integreeritud põhifunktsionaalsusi ning nendega seotud algoritmilisi lahendusi, samuti antakse ülevaade arendusprotsessi käigus katsetatud tehnoloogiatest ja tööriistadest.

4.1 Süsteemi arhitektuur

Väljatöötatud süsteem (Joonis 1) järgib kolmekihilise arhitektuuri (*three-tier architecture*) põhimõtet, kus rakenduse struktuur on jaotatud kasutajaliidese, äriloogika ja andmete haldamise kihiks [29]. Arendusprotsess toimus TalTechi GitLabi versioonihaldus keskkonnas, kust loodud tarkvara paigaldati ülikooli serverisse.

Süsteemi kasutamine algab kasutajaliidese, mis edastab tegevused vaheserveri kaudu äriloogika kihile. Seal toimub päringute töötlemine ning suhtlus nii andmebaasi kui ka väliste teenustega. Tsentraliseeritud andmehaldus tagab andmete ühtsuse ja turvalisuse. Arhitektuurilisel eristamisel tagatakse süsteemi töökindlus, paindlikkus ja edasiarendamise lihtsus tulevikus.

¹<https://nutilugemik.ee:8084/>



Joonis 1. Süsteemi arhitektuur.

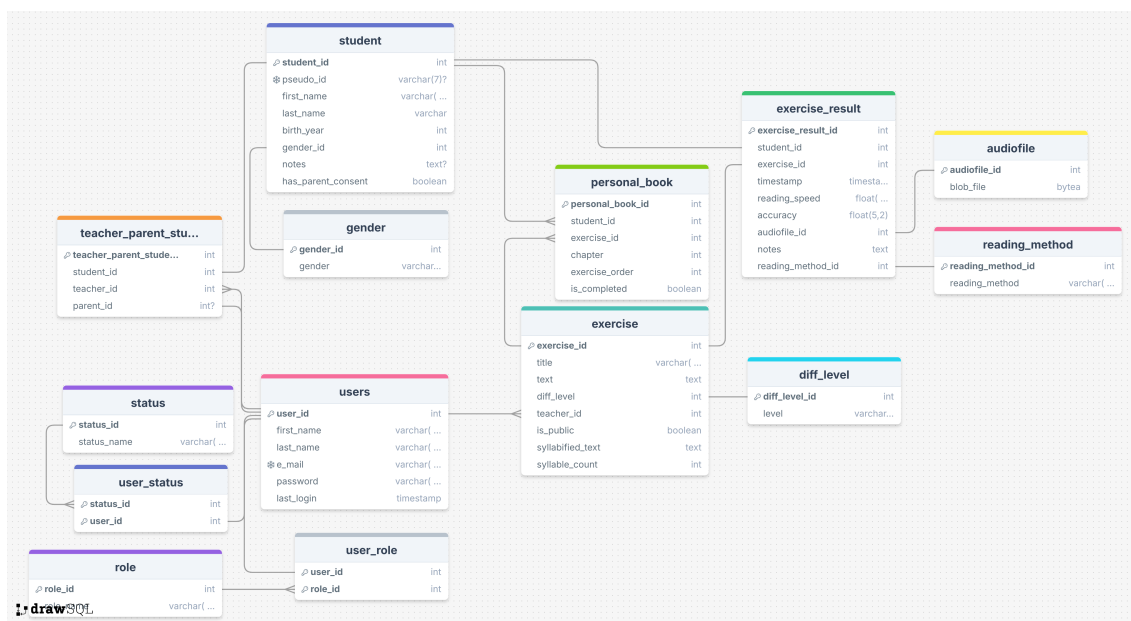
4.2 Kasutatud tehnoloogiad

Eesrakendus on realiseeritud Vue.js raamistiku abil, mis võimaldab arendada komponendi-põhiseid, dünaamilisi ja interaktiivseid üheleherakendusi (*Single Page Applications*, SPA). Vue võimaldab loogilise ja hästi struktureeritud koodibaasi ülesehitamist, toetades samal ajal kiiret prototüüpimist ja kasutajaliidese paindlikku kohandamist vastavalt tagarakendusest saadavale andmestikule [30].

Tagarakendus on jagatud kaheks iseseisvaks osaks: üldine äriloojika, mis on teostatud Spring Boot raamistiku abil, ja helifaili ning tekstitöötlust, mis on realiseeritud Pythoni-põhises Flaski raamistikus. **Spring Boot** võimaldab kihelist arhitektuuri (*controller*, *service*, *repository*), mis toetab paremat loogika eristamist, testitavust ja edaspidist skaleeritavust. REST-põhise arhitektuuri kaudu liiguvad andmestruktuurid süsteemis DTO (*Data Transfer Object*) kujul ning seotakse vastavate olemitega (*entity*), mis kajastavad PostgreSQL andmebaasis olevaid tabeleid [31], [32]. Täielik nimekiri rakenduses loodud REST API lõpp-punktidest on esitatud Lisas 8.

Helitöötluks eraldi moodulina teostamine on tingitud asjaolust, et eesti keele töötluks sobivad teegid, sealhulgas EstNLTK, on loodud Pythonis. **Flaski-põhises** teenuses kasutatakse pydub teeki helifailide sujuvuse ja kõnetempo hindamiseks. EstNLTK teegi abil töödeldakse kasutaja sisestatud lugemisharjutuste tekstid silbitatud kujule ning määratakse silpide ja sõnade arv. Lisaks on Flaski kaudu integreeritud kaks välist teenust: **TartuNLP Neurokõne**, mis võimaldab sünteesida eestikeelset tehishäält [26], ning **Sõnaveebi API**, mille abil hinnatakse sisestatud teksti keelelist raskusastet eesti keele õppija vaatenurgast, täpsemalt peatükis 4.5 Teksti raskusastme määramise algoritm ja selle rakendamine.

Andmebaasina on kasutusel **PostgreSQL**, mis on töökindel, skaleeruv ja laialdaselt kasutatav relatsiooniline andmebaas [33]. Andmebaasi skeemide versioonihaldust teostatakse **Liquibase** tarkvara abil, mis toetab muutuste jälgimist. Andmebaasiskeemi joonis (Joonis 2) visualiseerib tabelite, nendevaheliste seoste ning milliseid andmeid andmebaasis hoitakse.



Joonis 2. Andmebaasiskeem.

4.3 Turvalisus

Rakenduse turvaarhitektuur põhineb *JSON Web Token* (JWT) [34] mehhanismil ning Spring Security raamistikul. Turvalisus on tagatud nii ees- kui ka tagarakenduse tasandil.

Autentimine toimub JWT tokeni abil, mis omistatakse kasutajale sisselogimisel. Tokenil

on neljatunnine kehtivusaeg ning sellesse kodeeritakse kasutaja identifikaator, kasutajanimi, roll ning väljastamise ja kehtivuse aeg. Token allkirjastatakse turvalise salajase võtmega, kasutades **HS512 algoritmi**, ning edastatakse kasutajale, kus see salvestatakse brauseri localStorage'isse. Tokeni aegumisel logitakse kasutaja automaatselt välja (aegunud token kustutatakse) ning suunatakse kasutaja sisselogimisvaatesse.

Paroolid on süsteemis krüpteeritud BCryptPasswordEncoder'i abil, mis tagab turvalise paroolihalduse ja vastab tänapäevastele krüpteerimisnõuetele [35].

Rakenduses on kasutusel **rollipõhine autoriseerimine**. Erinevatele kasutajarollidele on määratud erinevad õigused, mida kontrollitakse nii eesrakenduses kui ka tagarakenduses.

Eesrakenduses kasutatakse Vue router beforeEach mehhanismi, mis dekodeerib JWT tokeni ning kontrollib kasutaja rolli. Ligipääs vaadetele on piiratud meta-andmete abil, näiteks pääseb /teacher-desktop vaatele ainult kasutaja, kelle rolliks on TEACHER.

Tagarakenduses on määratletud ligipääsupiirangud Spring Security SecurityFilterChain konfiguratsiooni kaudu. Näiteks API-päringute /api/admin/** käsitlemine on lubatud ainult ADMIN rolliga kasutajatele.

Kogu andmevahetus toimub turvalise HTTPS-protokolli kaudu. Lisaks kasutatakse tundlike andmete, nagu kasutaja identifikaatorid, krüpteerimiseks *Advanced Encryption Standard* (AES) algoritmi [36]. Kasutajaandmete kuvamist URL-päringutes välditakse, mis aitab suurendada privaatsust kliendipoolel.

4.4 Disainivalikud lugemiskogemuse individuaalsete vajaduste toetamiseks

Tõhus lugemisõpetus eeldab paindlikku ja õppijakeskset lähenemist, mis arvestab laste erineva arengu, vajaduste ja eelistustega [37]. Digitaalsete õppevahendite tugevus peitub nende kohandatavuses – need võimaldavad struktureeritud tuge õppijatele, kes seda vajavad, ning suuremat iseseisvust neile, kelle oskused seda võimaldavad. Käesoleva rakenduse disainimisel lähtuti põhimõttest, et iga õpilane peaks saama harjutada lugemist talle sobival viisil, tempol ja visuaalsel kujul.

4.4.1 Teksti kohandamise valikud

Õpilasel on võimalik valida, kas tekst kuvatakse **trükitähthedes** või **suurtähthedes**, mis on eriti oluline algajatele lugejatele. Varasemad uuringud on näidanud, et suurte tähtede ja lihtsustatud tähekujuude kasutamine võib toetada varase lugemisoskuse arengut [38], [39].

Lisaks saab kasutaja kohandada **teksti suurust**, et lugemiskeskkond vastaks paremini õppija visuaalsetele ja kognitiivsetele vajadustele.

Teksti saab esitada **silbitatult** või **silbitamata**, mis võimaldab arvestada õpilase fonoloogilise teadlikkuse tasemega. Silbitatud tekst aitab lastel sõnu struktureerida ning toetab foneemiteadlikkust, mis on oluline oskus lugemiskeskuste ennetamisel ja ületamisel [39].

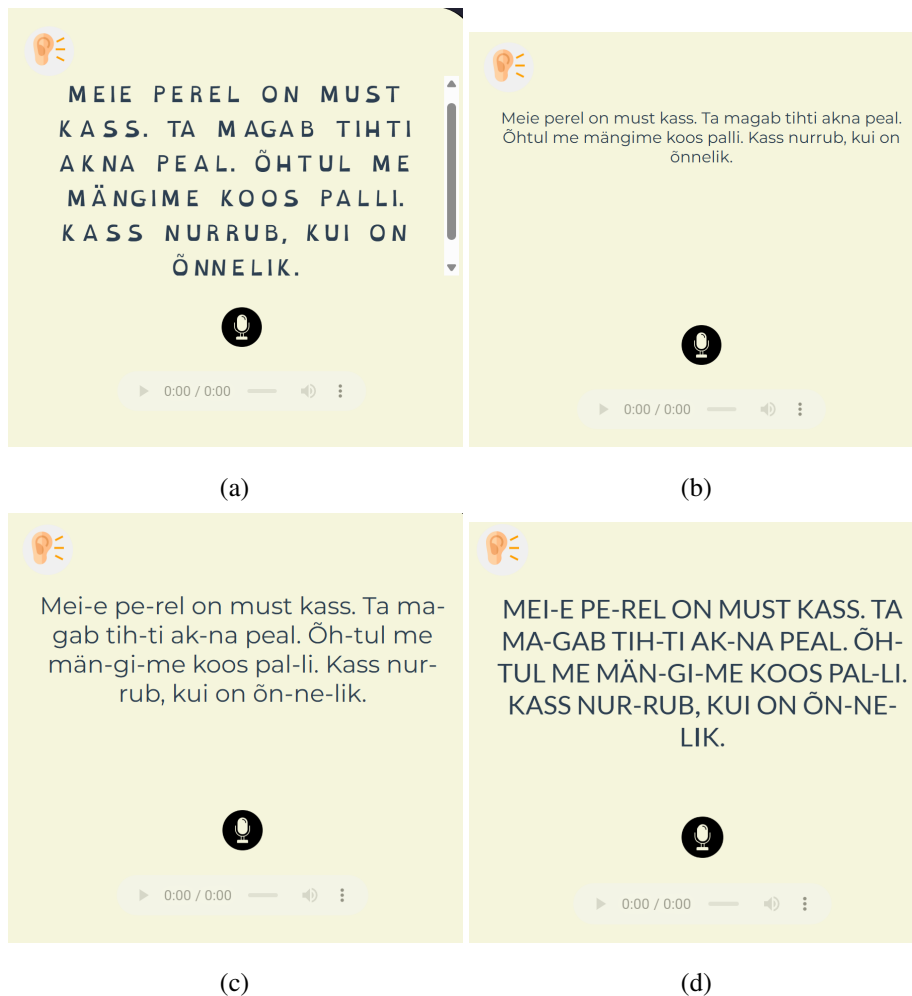
Silbitamine toimub automaatselt, kasutades eesti keele töötlusraamistiku EstNLTK silbitamisfunktsionaalsust [40].

Kasutajatel on võimalik valida nelja erineva kirjastiili vahel, milleks on **Lato**, **Montserrat**, **Roboto** ja **OpenDyslexic**.

Fondi valikul lähtuti kahest peamisest printsiibist: fondi **visuaalne loetavus** ekraanil ning fondi **toetus erivajadustega õpilastele** (nt düsleksia). OpenDyslexic on spetsiaalselt loodud düsleksiaga lugejate jaoks ja selle mõju on mitmetes uuringutes esile tõstetud [41].

Lisaks toetab rakendus **individuaalseid kirjatüübi eelistusi**, mida peetakse oluliseks, kuna uuringud on näidanud, et erinevate fontide vahel võib sama lugeja puhul esineda kuni 35% erinevus lugemiskiiruses, mõjutamata arusaamist. Seetõttu ei saa määratleda ühte universaalselt parimat fonti ning rakendus peab võimaldama kasutajapõhist fondivalikut [42].

Valik erinevad teksti kohandamise näiteid on illustreeritud Joonisel 3.



Joonis 3. Teksti kohandamise näited: (a) OpenDyslexic, silbitamata, trükitähed, (b) Montserrat, silbitamata, kirjatähed, (c) Roboto, silbitatud, kirjatähed, (d) Lato, silbitatud, trükitähed.

4.4.2 Lugemismeetodid: Karaoke ja Sünkroonlugemine

Lugemist, mille korral õpilane loeb teksti iseseisvalt, kuid ekraanil muutub parajasti loetav sõna visuaalselt esiletõstetuks (nt rasvaseks või värviliseks), nimetatakse **karaokelugemiseks**. See toetab silmade juhtimist ja rütmilist lugemist. Pilgu juhtimine toimub etteantud lugemiskiiruse alusel, mida saab määrata vahemikus 45–80 sõna minutis, võimaldades reguleerida harjutuse raskusastet ja toetada erineva tempoga lugejaid.

Valitud kiirusvahemik põhineb Eesti laste keskmise kõnetempo uuringutel, mille kohaselt 9–10-aastaste kõnekiirus jääb ligikaudu 48–60 sõna minutisse, kasvades vanusega [43]. See vahemik võimaldab harjutust kohandada vastavalt lapse arengutasemele ja vältida ülevõimeldamist.

Sünkroonlugemiseks nimetatakse lugemisviisi, kus tekst kõlab samaaegselt õpilase enda lugemisega, näiteks automaatse kõnesünteesitud hääle abil. Kasutaja saab valida nelja erineva hääle vahel (2 mees- ja 2 naishäält) ning lugemiskiirust saab muuta seitsmeastmelisel skaalal.

Sünkroonlugemisel kasutatakse **Neurokõne API** teenust – see on eestikeelne närvivõrkudel põhinev kõnesünteesi prototüüp, mille on välja arendanud Tartu Ülikooli keeletehnoloogia uurimisrühm. Mudel on treenitud eestikeelsetel uudiste ja ilukirjanduse tekstidel ning suudab jäljendada kümne erineva kõneleja häält. Kõnesüntees kõlab loomulikult, jäljendades intonatsiooni ja kõnetempot ning sobib seetõttu hästi lugemisharjutusteks, kus eesmärgiks on kaasalugemine ja intonatsiooni jäljendamine [26].

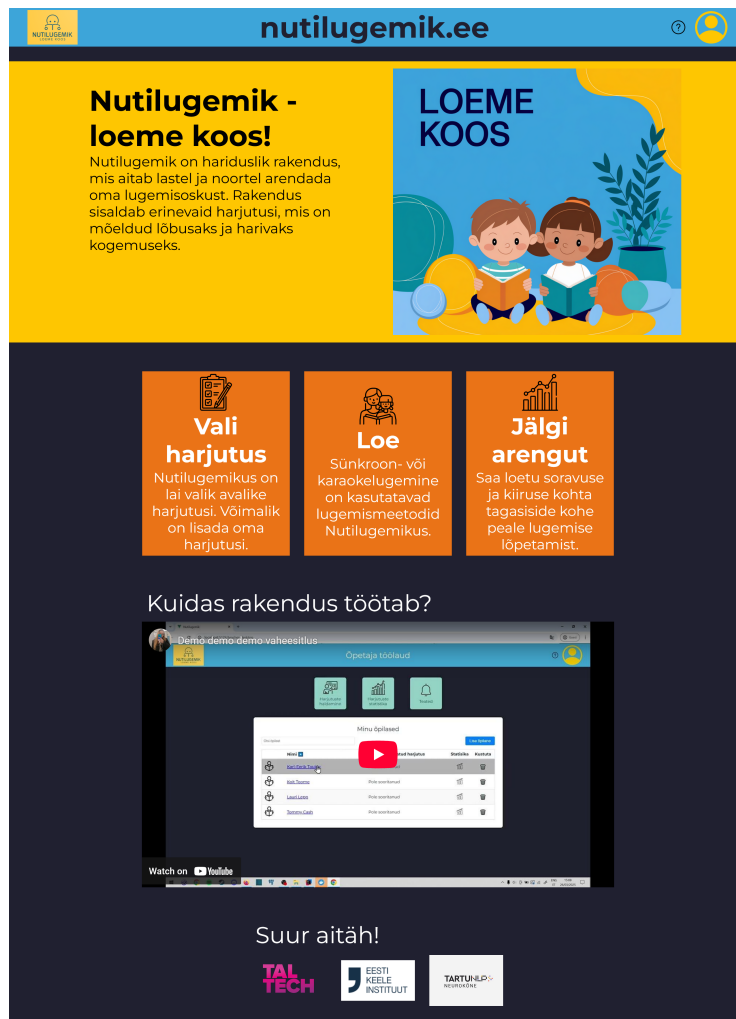
4.5 Rakenduse funktsionaalsused ja kasutajate rollid

Rakenduse arenduse käigus pöörati tähelepanu sellele, et funktsionaalsused toetaks õpetajate, õpilaste ja lapsevanemate koostööd lugemisoskuse arendamisel. Rakenduse eesmärk ei ole ainult pakkuda lugemismaterjale, vaid ka hallata isikupärastatud lugemisprotsessi, toetades individuaalset õpet ja võimaldades pidevat tagasisidet.

4.5.1 Üldised funktsionaalsused

Kasutajatel on võimalus **luua rakenduses isiklik kasutajakonto**, mis võimaldab juurdepääsu rakenduse funktsionaalsustele. Konto registreerimiseks tuleb sisestada ees- ja perekonnanimi, e-posti aadress ning salasõna (Lisa 2 Joonis 2-1). Lisaks on nõutav kasutajarolli määramine, milleks saab olla kas õpetaja või lapsevanem. Kasutajad saavad rakendusse sisse logida oma e-maili ning parooliga (Lisa 2 Joonis 2-2). Samuti on võimalik kasutajal oma konto deaktiveerida. Juhul kui kasutaja on unustanud oma salasõna, on selle taastamine võimalik läbi süsteemi poolt e-kirja teel saadetava lingi abil (Lisa 2 Joonis 2-3).

Sisselogimata kasutajal on ligipääs rakenduse avalehele (Joonis 4), kus kuvatakse sissejuhatav teave ja demovideo. Lisaks on kõigile kasutajatele, nii sisselogitutele kui ka sisselogimata, alati kättesaadav kasutusjuhendi vaade (Lisa 2 Joonis 2-4), mis avaneb ülevalt päisest küsimärgi ikoonile klikkides.



Joonis 4. Rakenduse avaleht.

4.5.2 Õpetaja roll ja funktsionaalsused

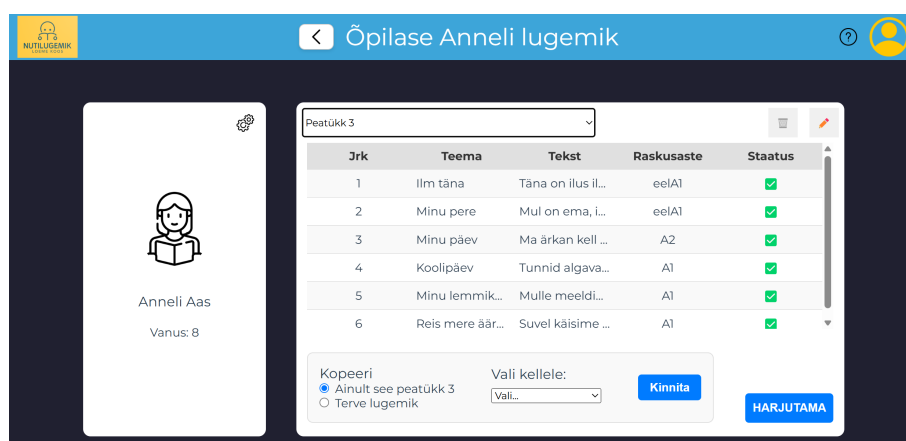
Õpetaja saab rakenduses **õppijaid hallata** ehk luua oma õpilastele profile, muuta olemasolevate õppijate andmeid ning hallata neile määratud lugemismaterjale. Neid tegevusi saab teostada õpetaja töölaua vaates, kus kuvatakse tema õpilaste nimekiri ning haldusvalikud (Joonis 5). Kasutajaõiguste süsteem piirab õpetaja ligipääsu ainult tema enda õppegrupi andmetele minimeerides ligipääsu ulatust vastavalt rollipõhise autoriseerimise põhimõtetele. Õpetaja saab anda ligipääsu õiguse lapsevanemale, kui viimane on lapse kohta esitanud taotluse (Lisa 2 Joonis 2-5).



Joonis 5. Rakenduse õpetaja töölaua vaade.

Igal õpilasel on üks **individuaalne lugemik**, kuhu õpetaja saab **lisada peatükke**. Iga uus peatükk luuakse esmalt tühjana ning sinna saab lisada kuni kuus lugemisharjutust, mida saab kombineerida vastavalt õppija vajadustele. Lugemiku kaudu saab õpetaja struktureerida lugemisprotsessi etapiviisiliselt.

Peatükkidepõhine struktuur võimaldab tulevikus integreerida mängulisi elemente, nagu preemiate või õpimärkide jagamine peatüki soorituse põhjal. Iga õpilase **personaalses lugemikku** saab hallata spetsiaalses vaates, kus on võimalik lisada või vaadata peatükke ja seal sisalduvaid harjutusi (Joonis 6). Harjutusteksti peatükki lisamiseks tuleb klikata pliiatsi ikoonil, mis avab omakorda peatüki harjutuste haldamise vaate (Lisa 2 Joonis 2-6).



Joonis 6. Rakenduse õpilase konto vaade.

Õpetaja saab rakendusse **sisestada uusi lugemistekste** (Lisa 2 Joonis 2-7), mille põhjal luuakse automaatselt vastavad lugemisharjutused. Harjutuse lisamise protsessis määrab

õpetaja tekstile pealkirja/teema (nt „Loomad“, „Loodus“, „Aastaaeg“) ning valib nähtavuse – harjutus võib olla kas privaatne (nähtav ainult autorile) või avalik, võimaldades selle kasutamist ka teistel õpetajatel. Selline lähenemine toetab materjalide taaskasutust ja vähendab dubleerimist.

Harjutuse lisamise käigus toimub ka sisestatud teksti keelelise raskusastme hindamine, mille eesmärk on toetada sobiva tasemega harjutuste valikut ning vähendada subjektiivsest hinnangust tulenevaid riske. Õpetaja saab valida, kas määrata raskusaste käsitsi või kasutada automaatset hindamist (Joonis 7), mis põhineb Eesti Keele Instituudi õpetajate tööriistade API-l. Täpsem kirjeldus rakendatud algoritmist ja hindamismehhanismist on esitatud alapeatükis 4.5 Teksti raskusastme määramise algoritm ja selle rakendamine.

Joonis 7. Rakenduses harjutuse lisamise automaatne hindamine.

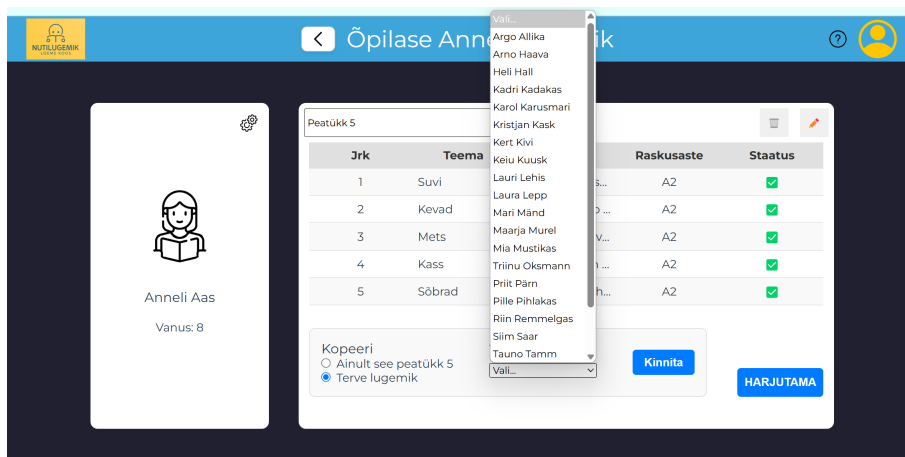
Õpetajal on võimaluses üldises harjutuste vaates (Joonis 8) **enda loodud harjutuste nimekirja vaadata** ning filtreerida harjutusi vastvalt raskusastme ja/või avalikkuse järgi. Vaates on võimalik näha **harjutuse detailsemat infot**, seda **muuta** ja **kustutada**. Kustutamine pole lubatud nende harjutuste puhul, mis on märgitud avalikuks või mida kasutatakse mõne õpilase lugemikus. Selline süsteem tagab, et harjutused on õpilastele kättesaadavad.



Joonis 8. Rakenduses harjutuste haldamise vaade.

Ühe õpilase lugemikus olevat peatükki saab viitamise (*reference copy*) teel **jagada teise õpilase lugemikku**. See tähendab, et harjutuse sisu ei dubleerita, vaid kõik viited osutavad samale allikale, säilitades sisu järjepidevuse ning võimaldades õpetajal muudatusi teha vaid ühes kohas.

Peatükkide või kogu lugemiku jagamine toimub õpilase lugemiku vaates, kus õpetajal on võimalik valida kopeeritav sisu ulatus (peatükk või kogu lugemik) ning määrata rippmenüü abil sihtõpilane, kellele see viitamise teel lisatakse (Joonis 9).



Joonis 9. Rakenduses lugemiku kopeerimine.

Õpetajal on juurdepääs nii iga **õpilase individuaalsele statistikale** (Joonis 10), nagu keskmine lugemiskiirus, soravus ja viimati sooritatud harjutused, kui ka **õpetaja harjutusülesannete koondstatistikale** (Lisa 2 Joonis 2-8), mis annab ülevaate enim

kasutatud harjutustest ja nende keskmisest sooritusest. Statistikamoodul toetab andmepõhist otsustamist ning aitab õpetajal hinnata, kuivõrd vastavad harjutused õppija tasemele ja arenguvajadustele.



Joonis 10. Rakenduse õpilase statistika vaade.

4.5.3 Õpilase roll

Õpilase rolli ei käsitleta eraldi autentitud kasutajana. Õpilased kasutavad rakendust õpetaja või lapsevanema konto kaudu oma isikliku profili alt, keskendudes seal eelkõige lugemisharjutuste sooritamisele (Joonis 11).

Õpilane saab:

- valida harjutuse sooritamiseks meelepärase lugemismeetodi;
- kohandada lugemiskeskkonda oma vajadustele (nt kiri, kirja suurus, sünteeshääl, silbitamine jms);
- soovi korral enne harjutuse sooritamist lasta sünteeshäälel harjutusteksti ette lugeda;
- sooritada piiramatult lugemisharjutusi;
- oma lugemisharjutuse salvestust tagasi mängida;
- peale harjutuse sooritamist näha sooritusele tagasisidet kõnetempo ja -soravuse osas.



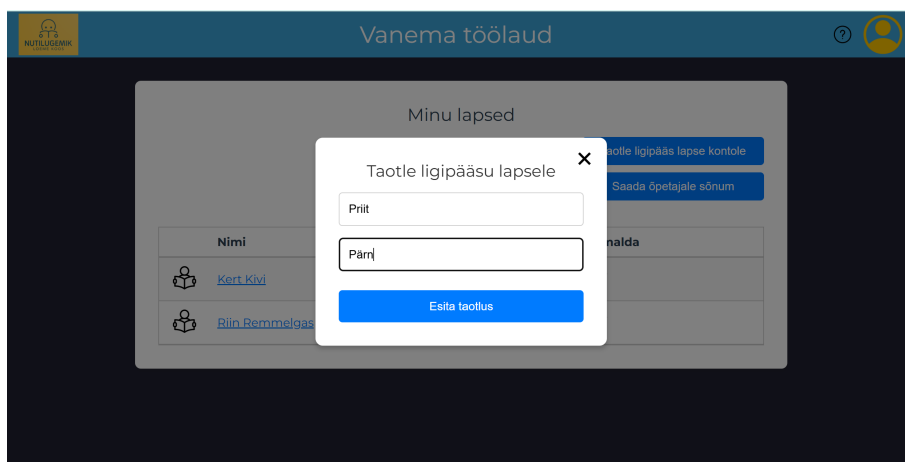
Joonis 11. Rakenduse harjutuse sooritamise vaade sünkroonlugemisega.

4.5.4 Lapsevanema ligipääs

Sisse logides suunatakse lapsevanem oma töölauale, millel on õpetajaga võrreldes piiratud funktsionaalsused (Lisa 2 Joonis 2-9). Lapsevanem peab lapsele ligipääsemiseks küsima luba õpetajalt (Joonis 12). Oma lapse nimele klikates näeb lapsevanem samasugust profiili nagu õpetaja, kuid puuduvad õigused lapsele ülesandeid lisada.

Kui lapsevanem saab õpetaja kaudu ligipääsu oma lapse profilile, siis ta näeb:

- õpetaja määratud lugemisharjutusi;
- lapse edusamme ja sooritatud harjutusi;
- saab kasutada rakendust koos lapsega kodus lugemiseks.



Joonis 12. Rakenduse ligipääsu taotlemise vaade.

Tulevikus on plaanis lisada võimalus lapsevanemal sõnumeid saata õpetajale ja vastupidi, et toetada omavahelist suhtlust.

4.5.5 Administraatori roll

Administraator vastutab rakenduse üldise toimimise ja stabiilsuse eest, tagades süsteemi kasutatavuse, turvalisuse ning tehnilise töökindluse. Tal on ligipääs **rakenduse koondstatistikale**, sealhulgas andmetele kasutajate arvu ja funktsioonide kasutussageduse kohta. Lisaks osutab administraator vajadusel tehnilist tuge õpetajatele ja teistele kasutajagruppidele. Administraatoril on õigus **alla laadida rakenduse andmebaasi talletatud helifaile** eesmärgiga lisada need kõnekorpusesse. Pärast allalaadimist eemaldatakse vastavad helifailid andmebaasist, et tagada süsteemi ressursitõhusus ja andmekaitse.

Administraatori vaated (Lisa 2 Joonised 2-10 - 2-13) on hetkel loodud ainult eesrakenduse tasandil ning põhinevad testandmetel. Need on loodud eelkõige struktuuri ja kasutajaliidese kavandamiseks ning võimalike tulevaste haldusfunktsioonide prototüübina.

4.6 Teksti raskusastme määramise algoritm ja selle rakendamine

Käesolevas töös loodud veebirakendus sisaldab funktsionaalsust, mis võimaldab automaatselt hinnata sisestatavate lugemistekstide keelelist raskusastet. Selle eesmärgiks on toetada õpetajaid sobiva tasemega lugemisharjutuste valimisel ning vähendada vajadust subjektiivse hinnangu põhjal tasemete määramiseks.

Teksti raskusastme automaatne hindamine toimub lugemisharjutuse lisamise protsessis. Õpetaja saab sisestada uue lugemisteksti ning seejärel valida rippmenüüst kas:

- määrata raskusaste käsitsi, valides sobiva CEFR-taseme (eelA1, A1, A2, B1, B2 või C1);
- või kasutada valikut "Määra automaatselt", mille korral analüüsib rakendus sisestatud teksti automaatselt ning pakub vastava raskusastme.

Automaatse hindamise aluseks on **Eesti Keele Instituudi Sõnaveebi õpetajate tööriistade API**, mis klassifitseerib iga sõna CEFR-taseme järgi ning annab kogu teksti kohta tasemete jaotuse [27]. Kuna API ei tagasta ühte ühest raskusastme hinnangut, töötati käesoleva töö raames välja spetsiaalne algoritm koondhinnangu arvutamiseks.

Algoritm põhineb CEFR-tasemete kaalutud keskmisel – igale tasemele omistatakse arvuline kaal vastavalt selle keerukusastmele ($A1 = 1$, $A2 = 2$, $B1 = 10$, $B2 = 20$, $C1 = 30$). Tekstis esinevate sõnade tasemete ja protsentide alusel arvutatakse keskmine kaal, mis seejärel ümardatakse lähimale tasemele vastavaks indeksiks. Lisaks rakendatakse algoritmis kontrollimehhanisme, mis:

- ei luba määrata tulemust madalamale kui $A2$, kui tekstis esineb piisavalt kõrgemate tasemete sõnu;
- väldivad tasemeid, mida tekstis tegelikult ei esine (nt $C1$ ei määrata, kui tekstis pole ühtegi $C1$ taseme sõna).

Tuleb siiski arvestada, et CEFR-tasemed on võõrkeeleõppeks loodud ning ei pruugi täielikult peegeldada emakeelsete laste lugemisoskuse arengut [44]. Seetõttu võib automaatset raskusastme hinnangut kasutada eelkõige orientiirina, millele õpetaja saab tugineda harjutuste valikul, kuid vajadusel seda oma pedagoogilise kogemuse põhjal korrigeerida.

Kokkuvõttes lisab teksti raskusastme automaatne hindamine rakendusele olulise funktsionaalsuse, mis vähendab õpetaja koormust, tõstab harjutuste valiku täpsust ning toetab isikupärastatud õppeteekonna kujundamist.

4.7 Kõnetempo ja lugemissoravuse hindamise metoodika

Kõnetempo ja kõnesoravus on olulised suulise keeleoskuse näitajad. Kõnetempot kirjeldatakse sageli kui silpide arvu sekundis, hõlmates ka pause, mistõttu see peegeldab nii artikulatsiooni- kui ka planeerimisprotsesse. Artikulatsioonitempo arvestab üksnes häälduse kiirust, jättes pausid kõrvale. Uurimus näitab, et spontaanse kõne puhul on kõnetempo üldjuhul kiirem kui loetud tekstis ning et teismelistel areneb soravus vanusega, eriti poistel [45].

Kõnesoravust on kirjeldatud kui kõne sujuvust ja katkestusteta voolavust, mida traditsiooniliselt hinnatakse selliste nähtuste kaudu nagu takerdumised, venitused ja pausid [45]. Kuna käesolevas süsteemis ei ole võimalik takerdumisi ja kordusi otseselt tuvastada, kasutatakse soravuse kaudse indikaatorina pauside kestust helifailis.

4.7.1 Kõnetempo hindamise algoritm

Kõnetempo määratakse silpide koguarvu ja loetud heli kestuse suhtena (Valem 4.1). Enne analüüsi trimmib süsteem helifaili, eemaldades vaikuse algusest ja lõpust. Nii välditakse seda, et näiteks lugemise alustamisega viivitamine või hilinevad salvestuse lõpetamine mõjutaks hinnangut.

$$\text{lugemistempo} = \frac{\text{silpide arv}}{\text{loetu kestvus}} \quad (4.1)$$

Silpide arvu määramiseks analüüsib süsteem sisestatud teksti, kasutades spetsiaalset silbitamise programmi (EstNLTK), mis jagab eesti keele sõnad silpideks, võttes arvesse nii sõnade kirjakuju kui ka kirjavahemärke. Silpe ei loeta pelgalt tähereeglite põhjal, vaid kasutatakse keeleanalüüsil põhinevat meetodit, mis arvestab ka tuntud lühendeid ja sõnavorme, tagamaks täpsema tulemuse [25].

4.7.2 Lugemissoravuse hindamise algoritm

Kõnesoravuse hindamisel analüüsitakse helisalvestises esinevaid pause, mis võivad viidata kõne katkestustele või kõhklustele. Salvestise sisemised vaikuseperioodid tuvastatakse akustilise analüüsi abil, kasutades **pydub** teeki ja **ffmeg** tööriista. Pausid summeeritakse, kuid seejuures arvestatakse ka tekstilist struktuuri, et eristada loomulikke pause (nt lause lõpp) liigsetest katkestustest (Valem 4.3).

Tekstist tuvastatakse lausete arv kirjavahemärkide (punkt, küsimärk, hüüumärk) järgi. Eeldatakse, et iga lause lõpus võib esineda loomulik paus, mille maksimaalne kestus (ca 1 sekund) ei mõjuta negatiivselt soravuse hinnangut (Valem 4.2). Seetõttu lahutatakse lubatud pauside kestus kogu pauside kestusest, saades kõne soravuse protsendi (Valem 4.4).

$$\text{lubatud pauside kestus} = \text{lausete arv} \cdot \text{maksimaalne lubatud paus (sekundites)} \quad (4.2)$$

$$\text{pauside kestus} = \max(\text{tegelik pauside kestus} - \text{lubatud pauside kestus}, 0) \quad (4.3)$$

$$\text{soravus}(\%) = \left(1 - \frac{\text{pauside kestus}}{\text{salvestise kestus}}\right) \cdot 100 \quad (4.4)$$

See lähenemine võimaldab eristada loomulikke pause tarbetutest viivitustest ning annab seeläbi õiglasema ja sisukama hinnangu lugemissoravusele.

4.7.3 Tulemuste kuvamine õppijale

Kuna rakenduse sihtrühmaks on algklasside õpilased, on oluline, et tagasiside oleks mitte ainult täpne, vaid ka arusaadav ja julgustav. Ainuüksi protsentuaalse hinnangu esitamine võib väiksematele lastele jääda abstraktseks ning vähendada motivatsiooni. Seetõttu kujundati soravuse tagasiside esitamine selliselt, et see oleks visuaalselt haaratav ja emotsionaalselt toetav.

Kõnesoravuse tulemus esitatakse värvilise visuaali ning lühikese suulise hinnanguna (Joonis 13), mis peegeldab lugemise sujuvust:

- 80–100%: rohelise värviga tekst: "Väga tubli! Lugesid kindlalt."
- 60–80%: kollase värviga tekst: "Hea töö! Veel veidi harjutamist."
- alla 60%: oranži värviga tekst: „Tubli üritus! Proovi veelkord – läheb paremini.“

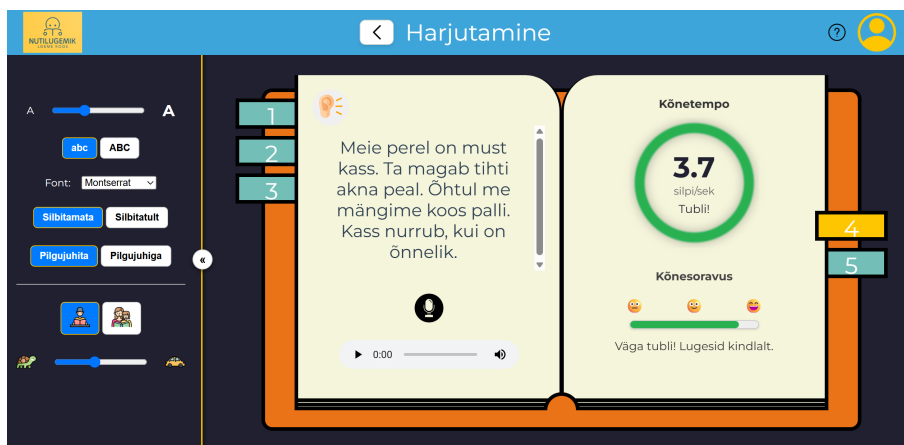
Kuigi õpilasele kuvatakse tulemus lihtsustatud kujul sõnalise tagasisidena, on õpetajal võimalik näha sama hinnangut statistika vaates ka protsentuaalsena.

Ka **kõnetempot** (silpi sekundis) ei esitata pelgalt arvuna, vaid kuvatakse visuaalselt ringgraafikul (Joonis 13), mille värv ja tekstiline tagasiside muutuvad vastavalt tulemuslikkusele. Kasutatud komponent kuvab:

- ringjoon, mille värv peegeldab kiiruse vahemikku,
- ujukomaarvu silpe/sekundis, nt 3.7 silpi/sek,
- tekstilise tagasiside, nagu "Tubli!", "Harjuta veel", või "Kiirustad!"

Visuaalse komponendi käitumine põhineb loogikal:

- < 2 silpi/sek → kollane värv, tekst "Harjuta veel"
- 2 - 4.5 silpi/sek → roheline värv, tekst "Tubli!"
- > 4.5 silpi/sek → oranž värv, tekst "Kiirustad!"



Joonis 13. Rakenduse harjutuse vaade koos tulemusega.

See kujundus võimaldab õppijal paremini mõista oma lugemiskiiruse taset ilma numbrilisele detailile keskendumata, pakkudes kiiret ja positiivset tagasisidet.

4.8 Tehnoloogiate katsetamine

Bakalaureusetöö käigus uuriti ja katsetati mitmeid olemasolevaid tööriistu, mis võimaldavad automaatselt hinnata suulise lugemise silpide arvu või tempot. Eesmärgiks oli leida sobiv komponent rakenduse lugemisharjutuste analüüsimiseks.

4.8.1 SylNet

Üheks proovitud tööriistaks oli SylNet², mis on sügavõppel põhinev otsast lõpuni (*end-to-end*) arhitektuuriga silpide arvu hindaja. SylNet kasutab konvolutsioonilisi närvivõrke ja GRU-põhist (*gated recurrent unit*) järjestustöötlust, et hinnata sisendi silpide arvu otse akustilisest signalist, ilma vahepealse transkribeerimiseta [46]. Mudel on treenitud kasutades erinevaid keele- ja helikorpuseid ning suudab töötada ka akustiliselt mürarikas keskkonnas.

Katsetamise käigus selgus, et kuigi SylNet sobib hästi lühikeste helikatkete (kuni ca 18 sekundit või 91 silpi) töötlemiseks, tuleb pikemate lugemiste puhul fail esmalt automaatselt osadeks lõigata. See tähendab, et iga helilõik tuleb eraldi töödelda ja tulemused hiljem kombineerida, mis pikendab analüüsi koguaega. Praktikas võib see põhjustada viivitusi reaalajas või vahetu tagasiside andmisel lastele lugemisrakenduses, mis

²<https://github.com/shreyas253/SylNet>

seab piiranguid tööriista kasutusmugavusele. Lisaks ilmnes, et täpsus varieerus sõltuvalt kõnelejast, hääldusest ja helikvaliteedist ning töökindlus eesti keele puhul ei olnud piisav ilma täiendava kohandamiseta. Kuna SylNet on välja töötatud eelkõige inglise ja saksa keele baasil ning puudub eestikeelne spetsiaalne treeningkorpus, osutus see tööriist sobimatuks rakendusse integreerimiseks.

Sellegipoolest oli SylNeti katsetamine oluline osa sobiva tehnoloogilise lahenduse valikuprotsessist ning töö metoodika osa dokumenteerib selle analüüsi tulemused. Samuti avab see võimaluse tulevikus kasutada siirdeõpet, kui kättesaadavaks muutub piisav eestikeelne kõnekorpus.

4.8.2 Speech Rate Meter (SRM)

Speech Rate Meter (SRM)³ on tööriist, mis võimaldab hinnata suulise kõne prosoodilisi parameetreid, keskendudes kolmele eraldiseisvale kõnetempo komponendile: tegelik kõnetempo (R_s), artikulatsioonitempo (R_a) ning pauside keskmine kestus (T_p). Analüüsi aluseks on vokaalsegmentide ja pauside kestused, mis tuvastatakse akustilisest signaalist ning teisendatakse statistilisteks hinnanguteks [47].

Tööriist töötab reaaliajas ning võimaldab nii mikrofoni kaudu salvestatud kui ka varem salvestatud kõne analüüsi, esitades tulemused graafilisel kujul. SRM on loodud eraldiseisva rakendusena ja töötab Windowsi ning Androidi platvormidel. Rakendus on suunatud eelkõige teaduslikuks ja professionaalseks kasutamiseks, näiteks kõneharjutustes, esitlusteks valmistumisel või kõneteraapias.

Käesoleva töö raames läbi viidud katsetustes andis SRM üsna häid tulemusi ning näitas potentsiaali suulise ettelugemise rütmiliste omaduste hindamisel. Kuigi tööriista praegune arhitektuur ei võimalda selle lihtsat integreerimist veebipõhisesse süsteemi, võiks tulevikus kaaluda selle rakendusesisest kasutust juhul, kui arendatakse välja sobiv API või muu liidestusvõimalus. Sellisel juhul avaneks võimalus pakkuda õppijale reaaliajas tagasisidet ka prosoodia ja kõnetempo osas.

³<https://github.com/zhitko/speech-rate-meter>

4.8.3 Kõnetuvastus ja täpsuse hindamise katsed

Rakenduse arendamisel otsiti võimalust hinnata etteloetud teksti täpsust automaatselt, kasutades kõnetuvastustehnoloogiat. Selle eesmärgiks oli võrrelda õpilase loetud kõnet algtekstiga ja analüüsida, kui täpselt sõnad või silbid kattuvad. Katsetamiseks valiti kolm eestikeelset kõnetuvastust toetavat lahendust: Google Speech-to-Text API⁴, Microsoft Azure Speech-to-Text⁵ ja tekstiks.ee⁶ [48], [49], [50].

Google'i ja Azure'i kõnetuvastusteenuste väljundiks on keeleliselt töötlemata transkriptsioon, mis loob eeldused hääldusvigade analüüsiks, kuna teksti grammatikat ei korrigeerita automaatselt. Katsetulemused näitasid aga, et laste kõne, eriti mittestandardne, veeriv või katkestustega ettelugemine, põhjustas sagedasi äratundmisvigu. Tulemuseks oli ebahütlane transkriptsioon, mis ei võimaldanud usaldusväärset võrdlust originaaltekstiga.

Tekstiks.ee lahendus transkribeeris eesti keelt märksa ladusamalt, ent selle toimimispõhimõtteks on tuvastusvigade automaatne korrigeerimine, mille tulemusel hääldusvead silutakse välja. See muudab tööriista sobimatuks juhuks, kui eesmärk on hinnata just lugemistäpsust ja fikseerida valesti hääldatud või loetud sõnad.

Kuna ükski testitud tööriist ei võimaldanud eesti keeles piisavalt täpset ja järjepidevat tulemuste analüüsi, otsustati automaatset kõnetuvastust täpsuse hindamise eesmärgil mitte rakendada. Algupärase plaani kohaselt sooviti täpsuse mõõtmiseks kasutada Levenšteini kaugust, mis võimaldab kvantitatiivselt võrrelda transkriptsiooni erinevusi algteksti suhtes. Praktikasse osutus see meetod aga ebausaldusväärseks, kuna transkriptsioonide ebajärjekindlus moonutas tulemusi ja ei võimaldanud järjepidevat hindamist.

⁴<https://cloud.google.com/speech-to-text>

⁵<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/speech-service/speech-to-text>

⁶<https://tekstiks.ee>

5 Tulemused ja analüüs

Rakenduse valideerimine viidi läbi neljas Tallinna üldhariduskoolis, kus kaasati peamiselt I kooliastme õpetajaid ja nende õpilasi. Lisaks osalesid testimises ka üks logopeed ning kaks hariduslike erivajadustega tegelevat pedagoogi, neist üks tegutses koolikeskkonnas ja teine erapraksises, kelle rolliks oli anda hinnang rakenduse sobivusele erituge vajavate laste toetamisel. Testimine toimus koolide loomulikus keskkonnas, ainetundide ajal, ning rakenduse funktsionaalsust tutvustati esmalt suuliselt. Seejärel said õpetajad või spetsialistid keskkonda iseseisvalt katsetada, kasutades spetsiaalset demoõpetaja kontot.

5.1 Osalejad ja testimiskeskkond

Kokku osales testimises neli algklasside õpetajat. Kolmel juhul viidi läbi ka õpilastega praktiline katsetus, mille käigus said 1.–3. klassi lapsed juhendamisel rakendust kasutada. Ühel juhul piirdus testimine ainult õpetajapoolse hindamisega. Õpilasi kaasati kokku kolmes erinevas klassis ning testimisel osales ligikaudu 40 last. Testimissituatsioonid olid loomulikud ja vabatahtlikud ning nende käigus ei salvestatud heli ega kogutud isikuandmeid.

Lisaks õpetajatele katsetas rakendust üks logopeed, kes viis harjutuse läbi individuaalselt kahe 2. klassis õppiva lapsega. Kaasatud olid ka kaks HEV spetsialisti, kelle tagasiside keskendus eelkõige rakenduse sobivusele erituge vajavate laste toetamisel ning puudutas kasutajaliidest, harjutuse loogikat ja funktsionaalsusi. Kuigi nad ise õpilasi testimisse ei kaasanud, võimaldas nende professionaalne hinnang rakendust analüüsida just eripedagoogilise vaatenurga kaudu.

5.2 Kasutajate tagasiside rakendusele

Tagasiside koguti vahetute vestluste, vaatlustel tehtud märkmete ja küsimustiku kaudu (Lisa 6). Õpilaste kogemust hinnati eelkõige vaatluse ja suunatud küsimuste kaudu, keskendudes nende esmamuljetele, arusaamisele ning kaasatusele. Õpetajatel paluti hinnata

rakenduse kasutusmugavust, sobivust erinevate õpilasgruppide jaoks ning potentsiaali selle rakendamiseks õppetöös. Suuliselt andis tagasiside 7 õpetajat/spetsialisti, kellest 5 täitsid lisaks ka kirjaliku küsimustiku.

5.2.1 Üldmulje ja funktsionaalsus

Rakenduse üldine kasutajaliides pälvis õpetajate hinnangul positiivset tähelepanu. Esileht andis kiire ja selge arusaama keskkonna eesmärgist ning põhilistest funktsioonidest. Vestluste ja märkmete põhjal kirjeldati keskkonda kui visuaalselt puhast ja arusaadavat, mille ülesehitus oli loogiline ning toetas õpetaja jaoks sujuvat orienteerumist ja harjutuste läbiviimist.

Õpetajate üldine esmamulje rakendusest oli valdavalt positiivne. Küsitluses esitati küsimus „Milline esmamulje Teile rakendusest jäi?“, millele vastati viiepunktilise skaalaga (*väga positiivne, pigem positiivne, neutraalne, pigem negatiivne, väga negatiivne*). Vastanutest 20% hindas esmamuljet *väga positiivseks*, 60% *pigem positiivseks* ning 20% *neutraalseks*. Negatiivseid hinnanguid ei esinenud.

Rakenduse ülesehitust ja navigeerimist hinnati samuti valdavalt positiivselt. Küsimusele „Kas rakenduse ülesehitus ja navigeerimine tundus loogiline?“ vastati neljapunktilisel skaalal (*jah, pigem jah, pigem ei, ei*), mille tulemusel märkis 20% vastanutest *jah* ja 80% *pigem jah*. Funktsioonid olid kergesti leitavad ja mõistetavad, mis võimaldas õpetajatel kiiresti mõista harjutuste ülesehitust ning katsetada neid iseseisvalt.

Küsitlusest selgus, et mõningast segadust tekitas iseseisval kasutamisel peale õpilase lisamist harjutustekstide juurde navigeerimine. Võimalikuks põhjuseks asjaolu, et harjutuste haldamise vaates kuvatakse ainult õpetaja enda sisestatud tekste, ent avalikult kõigile kättesaadavaid tekste saab valida alles õpilasele individuaalse lugemiku koostamisel.

5.2.2 Kasulikkus ja sobivus sihtrühmale

Õpetajate ja spetsialistide hinnangul sobib rakendus pigem algastme õppijatele, eelkõige 1.–2. klassi õpilastele, kes vajavad tuge lugemistehnika kujundamisel. 3. klassi laste puhul täheldati, et üldine huvi rakenduse vastu oli väiksem ning lugemisoskuse tase juba piisavalt kõrge, mistõttu vajaksid nad pigem teksti mõistmise kontrolli kui tehnilist lugemisharjutust.

Küsitluse põhjal paluti õpetajatel hinnata, millistele sihtrühmadele võiks rakendus sobida. Eriti sobivaks peeti seda eesti keelt teise keelena omandavatele lastele, samuti keeleõppijatele üldisemalt ning erivajadustega õppijatele, kelle puhul on oluline struktuurne ja korduv lugemisharjutus. Mainiti ka võimalust rakendust kasutada algkooli tavaklassides ning kodus koos lapsevanemaga harjutamiseks.

Kvalitatiivses tagasisides toodi esile, et rakendus on eriti tõhus individuaalset lugemistreeningut vajavatele õppijatele, näiteks õpiabiõpilastele, eesti keelt teise keelena omandavatele lastele ning logopeedilist või eripedagoogilist tuge vajavatele õpilastele. Rakendus toetab struktuurset ja korduvat harjutamist, mida peetakse oluliseks lugemisraskuste või kõnetakistustega laste puhul. Logopeed rõhutas, kui tähtis on lapse võimalus enda loetu tagasikuulamiseks, et arendada nii hääldusoskust kui teadlikkust enda arengust.

Mitmed õpetajad märkisid, et rakenduse kasutamine suures klassis (nt üle 20 lapse) võib olla keeruline, kuna seadmete arv, taustamüra ja individuaalse juhendamise piiratus takistavad süvenemist. Seetõttu rõhutati, et rakendus sobib kõige paremini väikeklassidesse, tugiõppesse või individuaaltöös, kus õpetajal on võimalik keskenduda ühe või väheste õpilaste juhendamisele.

5.2.3 Õpetajate sisuline tagasiside ja ettepanekud

Õpetajate vahetu tagasiside tõi esile mitmeid rakenduse tugevusi, kuid samuti esitati konstruktiivseid ettepanekuid selle arendamiseks. Esmalt rõhutati, et rakenduse funktsioonide mitmekesisus ja kohandatavus on oluline eelis võrreldes traditsioonilise paberkandjal harjutamisega. Positiivse aspektina toodi korduvalt esile võimalust muuta teksti kirjatüüpi, suurust ja lugemisviisi.

Erinevate fontide hulgast hinnati kõige sobivamaks OpenDyslexic, kuna selle puhul on tähed visuaalselt selgemalt eristatud ja sobivad paremini lugemisraskustega või tähelepanuprobleemidega lastele. Samuti rõhutati, et liiga tihedalt paiknevad tähed raskendavad sõnade eristamist, mistõttu peaks fondi ja reavahe valikud olema paremini läbimõeldud.

Üheks ettepanekuks oli, et rakendusse võiks lisada rohkem visuaalseid elemente, näiteks pildi ja sõna kooslust, et rakendust kohandada noorematele lastele, kes alles õpivad lugema.

Olulise tugevusena nimetati tagasikuulamise võimalust, mis aitab arendada eneseteadlikkust ja parandada hääldusoskust. Õpetajad rõhutasid, et tänapäeva õppijad peaksid varakult harjuma tagasiside saamise ja sellest õppimisega. Eriti nooremate laste puhul peeti oluliseks, et tagasiside oleks julgustav ja keskenduks edusammudele, mitte eksimustele.

Õpetajad rõhutasid, et rakenduse sobivus sõltub sihtrühmast – 1.–2. klassi õpilaste puhul on tehnilise lugemisoskuse arendamine asjakohane, kuid 3. klassis eeldatakse juba suuremat keskendumist loetust arusaamisele. Selleks sooviti rakendusse lisafunktsioone, mis võimaldaksid kontrollida teksti mõistmist (nt valikvastustega küsimused, ristsõnad, pildi ja teksti seostamine).

Klassiõppes kasutamise puhul toodi välja, et õpetajad vajaksid võimalust kuulata salvestusi ka hiljem, sest ainetunni ajal kasutades ei ole võimalik kõigile lastele korraga piisavalt tähelepanu pöörata.

Mitmes tagasisides rõhutati, et lastele meeldivad mängulised ja visuaalsed elemendid, näiteks harjutused, kus tekst ilmub sõnakaupa või tükkidena. Samuti pakuti ideid preemiate süsteemi jaoks, näiteks pildikillud, mis moodustavad terviku pärast edukat harjutust, mis motiveeriks eriti nooremaid või tähelepanuprobleemidega õpilasi. Lisaks tehti ettepanek lisada loetud aja või lugemiste arvu põhjal indikatsioon, mis aitaks keskendumisraskustega õpilastel paremini ajastada oma pingutust (nt „veel 1 minut lugemist“).

Mõned vastajad viitasid vajadusele täpsustada tagasisidet lugemistäpsuse kohta, näiteks kas teatud häälikud hääldati õigesti. Eriti oodatud oleks, kui visuaalselt oleks võimalik anda tagasiside, milline osa tekstist loeti korrektselt ja milliseid sõnu peaks veel harjutama.

Mitmed õpetajad rõhutasid korduvalt, et lugemisõppe edu sõltub suuresti sobiva teksti valikust. Kui tekst on liiga keeruline, sobimatu sõnavaraga või halvasti struktureeritud, võib see süvendada lugemisraskusi ja vähendada motivatsiooni. Seetõttu peeti äärmiselt oluliseks, et rakendus võimaldaks õpetajal ise valida ja kohandada õppetekste vastavalt iga õppija vajadustele.

5.2.4 Tähelepanekud õpilaste kasutajakogemuse kohta

Õpilaste kasutajakogemust hinnati praktiliste testimiste käigus eelkõige vaatluse ja vahetu suulise tagasiside põhjal, keskendudes esmamuljetele, kasutajaliidese mõistmisele ning funktsioonide kasutamisele.

Üldiselt orienteerusid lapsed just neile suunatud harjutuse sooritamise vaates kiiresti ja intuiitiivselt. Küsides, mida erinevad nupud, ikoonid ja muud liidese osad võiks tähendada, vastasid lapsed enamasti õigesti, tuginedes visuaalsele loogikale ja eelnevatele digikogemustele, näiteks mõistsid nad iseseisvalt, et raamatulehtede servadel kuvatud värvilised ribad on järjehoidjad ning nende klõpsamisel saab vahetada harjutustekste, justkui pöörates raamatulehti.

Lugemisviiside – karaoke- ja sünkroonlugemise – eristamine ei valmistanud raskusi. Lapsed seostasid esimest individuaalse ja teist kaasalugemise olukorraga. Nende toimimise põhimõtet mõisteti kiiresti ning õpilased kasutasid neid valikuid iseseisvalt.

Visuaalne kujundus ja võimalus muuta harjutuse seadeid (nt kirja suurus, kirjatüüp, sünteeshääl, lugemismeetod) tagasid isikupärastatud kasutajakogemuse, mis suurendas motivatsiooni ja huvi. Eriti tekitasid elevust sünteeshääled, mille valikuvõimalused, sooline erinevus ja kiirus, pakkusid mängulist katsetamisvõimalust. Märinati selget eelistust: poisid eelistasid pigem meeshääli ning tüdrukud naishääli, mis viitab, et mitmekesised häälevalikud aitavad toetada kasutajamugavust ja kaasatust.

Laste kasutajakogemuse vaatluste põhjal ilmnnes lisaks positiivsetele aspektidele ka mõningaid väljakutseid. Mõnel juhul unustasid õpilased pärast lugemise lõppu salvestamise peatada, mistõttu jäi salvestus soovimatult edasi kestma. Samuti oli juhtumeid, kus õpilased ei reageerinud pilgujuhile ega kohandanud selle järgi oma lugemistempot, vaid jätkasid pigem endale sobivas tempos. Esines ka olukordi, kus lapsed jäid huviga kuulama sünteeshäält ja unustasid kaasalugemise.

Üksikjuhtudel loobusid mõned lapsed rakenduse proovimisest. Peamiste põhjustena toodi välja klassiruumi müra, mis raskendas keskendumist, ning soovimatus lugeda kaaslaste kuuldes, mis viitab privaatsuse olulisusele harjutamise ajal.

See toetab arusaama, et rakendus sobib paremini väiksemas rühmas või individuaalõppes, kus õppija saab rahulikult keskenduda ja julgemalt katsetada.

5.3 Ekspertarvamus

Lisaks õpetajate ja õpilaste tagasisidele küsiti kirjalikku eksperdihinnangut digihariduse valdkonnas tegutsevalt spetsialistilt Kelly Lilleselt. Tema arvamus toob esile loodud rakenduse potentsiaali, olulisuse varajase lugemisoskuse toetamisel ning võimalused tulevaseks arenduseks. Täismahus arvamus on lisatud Lisa 7-sse.

6 Edasiarendusvõimalused

Rakenduse testimine ja kasutajate tagasiside analüüs andsid väärtusliku sisendi arendustöö jätkamiseks. Eriti olulised olid õpetajate ja spetsialistide praktilised tähelepanekud, mis tõid esile nii toimivaid lahendusi kui ka kohti, kus kasutuskogemust saaks veelgi täiustada. Lisaks ilmnesis valideerimise käigus mitmed tehnilised ja metoodilised aspektid, millele arendustiim soovib edaspidi rohkem tähelepanu pöörata.

6.1 Kasutajate tagasisidel põhinevad parendusettepanekud

Kasutajatelt kogutud tagasiside tõi esile mitmeid olulisi täiendusettepanekuid, mis keskendusid peamiselt kasutusmugavusele ja õppijate vajadustega arvestamisele.

Laste kasutuskogemuse vaatluse põhjal ilmnis vajadus **automaatselt lõpetatava salvestusprotsessi** järele, et vältida olukordi, kus kasutaja unustab harjutuse lõpus salvestuse käsitsi lõpetada. Samuti tekitab sünkroonlugemise puhul **viivitus salvestusnupu aktiveerimise** ja **sünteesääle kõlamise** vahel õpilastes ebakindlust, mistõttu peeti oluliseks selle käivitamise kiirendamist.

Lisaks toodi mitmes tagasisides välja, et loetule antav tagasiside võiks olla **visuaalsem** ja **mängulisem**, näiteks ikoonide või animatsioonide kujul. Numbriline või tekstipõhine hinnang võib jääda noorematele õpilastele arusaamatuks ning ei pruugi piisavalt motivatsiooni toetada.

Kirjatüüpide osas tõid õpetajad välja, et mõned fondid, nagu OpenDyslexic ja Montserrat, toetavad paremini lugemisoskuse arengut, kuna nende tähed on visuaalselt selgelt eristatavad ning sobivad eriti hästi lugemisraskustega või tähelepanuprobleemidega lastele. Seevastu kitsamad ja tihedamalt paigutatud fondid, nagu Lato või Roboto, asemele võiks leida **sobivamad kirjatüübid**.

Et võimaldada klassiõpetajal rakendust õppetöös kasutada, peaks õpetajal olema võimalus

kõikide **salvestuste hilisem järelekuulamine**. Praegu on rakendus seadistatult selliselt, et kasutaja saab salvestust tagasi kuulata vaid lühiajaliselt kuni käesoleva harjutuse vaate sulgemiseni.

Samuti leidsid just klassiõpetajad, et kui rakenduse sihtgruppi soovida laiendada õpilastele, kelle tehniline lugemisoskus on juba hea (tavaõpilased enamasti juba 2. või 3. klassis), võiks kaaluda **teksti mõistmise hindamist** (nt kontrollküsimuste kaudu).

Lisasoovitusena tõsteti esile ka vajadus **lihtsustada harjutustekstide sisestamist suuremas mahus**, näiteks võimaldades importida tekste failist või kopeerida mitu harjutust korraga.

6.2 Arendustiimi plaanitavad parendused ja visioon

Lisaks kasutajate soovitudele on arendustiim seadnud mitmeid eesmärgi, mis toetavad rakenduse arengut nii tehnilises kui ka metoodilises plaanis.

Arvestades sihtrühma digikasutusharjumusi, võiks edasistes arendusetappides **kaaluda veebirakenduse kohandamist tahvelarvutites ja mobiiltelefonides kasutamiseks**, eriti iPadides, mis on koolikeskkonnas ja koduses õppes laialdaselt levinud. Selline tehniline kohandamine aitaks parandada kasutajamugavust ning suurendaks rakenduse kättesaadavust.

Kuigi esialgsed tulemused on olnud julgustavad, vajab automaatne tagasiside veel peenhäälestamist, nii kõnetempo kui ka soravuse hindamisel. **Arendustiim peab oluliseks, et tagasiside oleks ennekõike usaldusväärne**, sest ainult nii on võimalik toetada õppijat sisukalt tema arengus ning tagada, et tulemusi saab ajas järjepidevalt ja õiglaselt võrrelda. Selle eesmärgi saavutamiseks on vaja jätkata rakenduse katsetamist erinevates õpiolukordades.

Lisaks sisulistele arendussuundadele on arendustiimil visioon jätkata tihedat **koostööd Tallinna Tehnikaülikooli keeletehnoloogia laboriga**, kelle juhendamisel on käesolev rakendus välja töötatud. Edasistes etappides nähakse võimalust rakenduse kaudu toetada eesti laste **kõnetuvastusmudelite** edasiarendamist, kogudes sihipäraselt **laste kõnenäidiseid**. See looks väärtusliku panuse keeletehnoloogilisse teadustöösse ning aitaks tulevikus välja töötada automaatse **loetu täpsuse hindamise** funktsionaalsuse, mis pakub

õppijale kohest ja sisukat tagasisidet ning toetab tema hääldusoskuse arengut.

Lisaks kaalub arendustiim koostöövõimalusi haridustehnoloogia ettevõttega **ALPA Kids**¹, kes on varasemalt tegelenud eesti laste kõnetuvastusmudelite treenimisega. Selline koostöö võiks pakkuda võimalusi kogemuste vahetuseks ning tugevdada seoseid teiste sarnases valdkonnas tegutsevate algatustega. Samuti võiks **EdTech Estonia**² võrgustiku kaudu tekkida võimalusi rakenduse nähtavuse suurendamiseks ning selle kasutusvõimaluste laiendamiseks ka väljaspool koolikeskkonda.

Tulevikus on plaanis põhjalikumalt analüüsida rakenduse **kohandamisvõimalusi eesti keele õppijatele ja keelekümblyklassidele**. Kuigi seekordses valideerimises ei osalenud eesti keelele üleminevad õppijad ega nende õpetajad, viitab rakenduse ülesehitus – koos struktureeritud harjutusloogika, kohandatavate tekstide ja mängulise lähenemisega – sellele, et see võiks sobida hästi ka keelelist tuge vajavatele õpilastele. Arvestades, et **Eesti haridusstrateegia üheks prioriteediks on üleminek eestikeelsele õppele** [51], oleks otstarbekas edaspidi hinnata rakenduse kasutatavust just selles sihtrühmas.

Arendustiimil on soov rakendusega ka edaspidi tegeleda, viies ellu nii kasutajatelt tulnud ettepanekuid kui ka omaenda visiooni. Eesmärk on muuta lahendus veelgi kasutajasõbralikumaks ja mitmekülsemaks, et see toetaks erinevaid õppijaid võimalikult hästi.

¹<https://alpakids.com/et/>

²<https://www.edtechestonia.org/>

7 Kokkuvõte

Lõputöö raames töötati välja veebipõhine lugemisrakendus, mille eesmärk on toetada laste suulise lugemisoskuse arengut varases koolieas. Rakendus võimaldab harjutada ettelugemist struktureeritud ja mängulises keskkonnas, pakkudes automaatset tagasisidet kõnetempo ja soravuse kohta ning võimalust kohandada harjutuste visuaalseid ja sisulisi parameetreid vastavalt õppija vajadustele.

Testimised neljas Tallinna koolis ning haridusspetsialistide ja õpetajate hinnangud kinnitasid, et rakendus on funktsionaalne, visuaalselt arusaadav ja kasutajasõbralik. Sobivus ilmnes eelkõige 1.–2. klassi õpilaste seas ning nende hulgas, kellel esineb lugemisraskusi. Õpetajate sõnul on rakendus potentsiaalselt kasutatav ka keeleõppes, sh eesti keelele üleminekul mitmekeelse taustaga laste puhul.

Arendustöö käigus integreeriti ja katsetati keeletehnoloogilisi komponente, nagu silbitamine, kõnetempo hindamine ja kõnesüntees. Kuigi automaatset kõnetuvastust veel ei rakendatud, nähakse selles suunda edasiseks koostööks haridus- ja keeletehnoloogia valdkonna ekspertidega. Samuti kaalutakse võimalust laiendada rakenduse kasutatavust mobiilsetele seadmetele.

Töö tulemused näitavad, et loodud rakendus vastab püstitatud eesmärkidele ning loob tugeva aluse edasisteks arendusteks. Edasises töös nähakse fookust usaldusväärse tagasiside täiustamisel, kasutusmugavuse suurendamisel ja rakenduse kohandamisel laiematesse õpikeskkondadesse ja sihtrühmadesse, sealhulgas keeleõppe konteksti.

Kasutatud kirjandus

- [1] Louisa C. Moats. *"Teaching Reading is Rocket Science"*. Washington, DC, USA: American Federation of Teachers, 2020. [Veebis]. URL: <https://www.aft.org/sites/default/files/moats.pdf>.
- [2] Kate Cain ja Jane Oakhill. „Matthew effects in young readers: Reading comprehension and reading experience aid vocabulary development“. *Journal of Learning Disabilities* 44 (2011), lk. 431–443. doi: 10.1177/0022219411410042.
- [3] Minna Torppa *et al.* „Reading development subtypes and their early characteristics“. *Annals of dyslexia* 57 (2007), lk. 3–32. doi: 10.1007/s11881-007-0003-0.
- [4] Beata Beigman Klebanov *et al.* „Detecting learning in noisy data: the case of oral reading fluency“. Teoses: *Proceedings of the Tenth International Conference on Learning Analytics & Knowledge*. LAK '20. Frankfurt, Germany: Association for Computing Machinery, 2020, lk. 490–495. doi: 10.1145/3375462.3375490.
- [5] Daniel Bolaños *et al.* „FLORA: Fluent oral reading assessment of children's speech“. *ACM Trans. Speech Lang. Process.* 7 (2011). doi: 10.1145/1998384.1998390.
- [6] Rupal Patel ja William Furr. „ReadN'Karaoke: Visualizing prosody in children's books for expressive oral reading“. Teoses: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '11. Vancouver, BC, Canada: Association for Computing Machinery, 2011, lk. 3203–3206. doi: 10.1145/1978942.1979410.
- [7] Lijing Zou *et al.* „Home reading environment, sociometric and demographic factors associated with dyslexia in primary school students in China: A case-control study“. *Heliyon* 9 (2023), e22100. ISSN: 2405-8440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22100>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023093088>.
- [8] Maíra Anelli Martins ja Simone Aparecida Capellini. „Relation between oral reading fluency and reading comprehension“. *CoDAS* 31 (2019). doi: 10.1590/2317-1782/20182018244.
- [9] Carol McDonald Connor *et al.* „A Longitudinal Cluster-Randomized Controlled Study on the Accumulating Effects of Individualized Literacy Instruction on Students' Reading From First Through Third Grade“. *Psychological Science* 24 (2013), lk. 1408–1419. doi: 10.1177/0956797612472204.
- [10] G. Reid Lyon, Sally E. Shaywitz ja Bennett A. Shaywitz. „A definition of dyslexia“. *Annals of Dyslexia* 53 (2003), lk. 1–14. doi: 10.1007/s11881-003-0001-9.

- [11] Eve Kikas *et al.* „Associations Between Reading Skills, Interest in Reading, and Teaching Practices in First Grade“. *Scandinavian Journal of Educational Research* 62 (2017), lk. 832–849. DOI: 10.1080/00313831.2017.1307272.
- [12] Paula J. Schwanenflugel ja Justin Miller. „Prosody of Syntactically Complex Sentences in the Oral Reading of Young Children“. *Journal of Educational Psychology* 98 (2006), lk. 839–843. DOI: 10.1037/0022-0663.98.4.839.
- [13] Melanie R. Kuhn ja Steven A. Stahl. „Fluency: A review of developmental and remedial practices“. *Journal of Educational Psychology* 95 (2003), lk. 3–21. DOI: 10.1037/0022-0663.95.1.3.
- [14] Hasimah Ja'afar *et al.* „Enhancing Oral Reading Fluency through Computer Assisted Repeated Reading“. *Asian Journal of University Education* 17 (2021), lk. 207–221. DOI: 10.24191/ajue.v17i1.12618.
- [15] Anastassia Loukina, Van Rynald T. Licalde ja Beata Beigman Klebanov". „Towards Understanding Text Factors in Oral Reading“. Teoses: *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers)*. New Orleans, Louisiana: Association for Computational Linguistics, 2018, lk. 2143–2154. DOI: 10.18653/v1/N18-1195.
- [16] Jared Bernstein *et al.* „Studies of a Self-Administered Oral Reading Assessment“. Teoses: *7th ISCA Workshop on Speech and Language Technology in Education (SLaTE 2017)*. Stockholm, Sweden, 2017, lk. 172–176. DOI: 10.21437/SLaTE.2017-30.
- [17] Kõneravi.ee. *Kõneharjutused - kellele ja milleks?* [Veebis]. 2023. URL: <https://koneravi.ee/koneravi-ee-kellele-ja-milleks/> (vaadatud 25.03.2025).
- [18] Tartu Ülikool. *Kiirlugemise harjutused*. [Veebis]. 2021. URL: <https://kiirlugemine.keeleressursid.ee> (vaadatud 26.03.2025).
- [19] Martin Karjus. „Veebipõhine platvorm lastele eesti keele lugemisoskuse treenimiseks ja hindamiseks“. Bakalaureusetöö. Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Eesti, 2021.
- [20] Monica Sunkara *et al.* „Multimodal Semi-Supervised Learning Framework for Punctuation Prediction in Conversational Speech“. Teoses: *Interspeech 2020*. Shanghai, China, 2020, lk. 4911–4915. DOI: 10.21437/Interspeech.2020-3074.
- [21] Marek Nagy. „Measuring and Improving Children's Reading Aloud Attributes by Computers“. *Journal of Linguistics* 68 (2017), lk. 278–286. DOI: 10.1515/jazcas-2017-0037.
- [22] Tristan J. Mahr *et al.* „Performance of Forced-Alignment Algorithms on Children's Speech“. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 64 (2021), lk. 2213–2222. DOI: 10.1044/2020_JSLHR-20-00268.
- [23] Robert Fromont *et al.* „Maximizing accuracy of forced alignment for spontaneous child speech“. *Language Development Research* 3 (2023), lk. 182–210. DOI: 10.34842/shrr-sv10.

- [24] Gianluca Schiavo *et al.* „Attention-driven read-aloud technology increases reading comprehension in children with reading disabilities“. *Journal of Computer Assisted Learning* 37 (2021), lk. 875–886. doi: 10.1111/jcal.12530.
- [25] Siim Orasmaa. *Syllabification*. [Veebis]. 2024. URL: https://github.com/estnltk/estnltk/blob/main/tutorials/nlp_pipeline/B_morphology/syllabification.ipynb (vaadatud 04.03.2025).
- [26] Tartu Ülikooli keeletehnoloogia uurimisrühm. *Neurokõne: Kõnesünteesi veebidemo ja API*. [Veebis]. 2025. URL: <https://neurokone.ee> (vaadatud 24.03.2025).
- [27] Jelena Kallas *et al.* *Eesti keele kui teise keele õpetaja tööriistad 2022*. 2021. doi: 10.15155/3-00-0000-0000-0000-08C04L. URL: <https://sonaveeb.ee/teacher-tools>.
- [28] ChatGPT. (2023), OpenAI [Veebis]. URL: <https://chat.openai.com> (vaadatud 27.03.2025).
- [29] Kaushik Pal. *A Detailed Look at 3-Tier Software Architecture*. [Veebis]. 2018. URL: <https://www.techopedia.com/2/32100/software/a-detailed-look-at-3-tier-software-architecture> (vaadatud 12.05.2025).
- [30] Vue.js. *Introduction*. [Veebis]. URL: <https://vuejs.org/guide/introduction.html> (vaadatud 12.05.2025).
- [31] Spring.io. *Building a RESTful Web Service*. [Veebis]. URL: <https://spring.io/guides/tutorials/rest> (vaadatud 13.05.2025).
- [32] Spring.io. *Chapter 10. Application Layering*. [Veebis]. URL: <https://docs.spring.io/spring-roo/reference/html/base-layers.html> (vaadatud 13.05.2025).
- [33] PostgreSQL. *About*. [Veebis]. URL: <https://www.postgresql.org/about/> (vaadatud 12.05.2025).
- [34] Michael B. Jones, John Bradley ja Nat Sakimura. *JSON Web Token (JWT)*. RFC 7519. 2015. doi: 10.17487/RFC7519.
- [35] National Institute of Standards *et al.* *Digital Identity Guidelines - Authentication and Lifecycle Management*. 2017. doi: 10.6028/NIST.SP.800-63b. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-63b.pdf>.
- [36] National Institute of Standards *et al.* *Advanced Encryption Standard (AES)*. 2023. doi: 10.6028/NIST.FIPS.197-upd1. URL: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=936594.
- [37] Gail Tompkins. *Literacy for the 21st Century: A Balanced Approach*. Boston, MA, Pearson, 2014.
- [38] A I Rudnicky ja P A Kolers. „Size and case of type as stimuli in reading“. *Journal of experimental psychology* 10 (1984), lk. 231–249. doi: 10.1037//0096-1523.10.2.231.
- [39] Arnold Wilkins *et al.* „Typography for children may be inappropriately designed“. *Journal of Research in Reading* 32 (2009), lk. 402–412. doi: 10.1111/j.1467-9817.2009.01402.x.

- [40] Sven Laur *et al.* „EstNLTK 1.6: Remastered Estonian NLP Pipeline“. Teoses: *Proceedings of The 12th Language Resources and Evaluation Conference*. Marseille, France: European Language Resources Association, 2020, lk. 7154–7162. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/2020.lrec-1.884>.
- [41] Luz Rello ja Ricardo Baeza-Yates. „The Effect of Font Type on Screen Readability by People with Dyslexia“. *ACM Trans. Access. Comput.* 8 (2016), lk. 1–33. DOI: 10.1145/2897736.
- [42] Shaun Wallace *et al.* „Towards Individuated Reading Experiences: Different Fonts Increase Reading Speed for Different Individuals“. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 29 (2022), lk. 1–56. DOI: 10.1145/3502222.
- [43] Einar Meister ja Lya Meister. „Eesti laste kõne III. Kõnetempo ja silbikestuste analüüs“. *Keel ja Kirjandus* 65 (2022), lk. 226–245. DOI: 10.54013/kk771a3.
- [44] OECD. *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. Paris: OECD Publishing, 2019. DOI: 10.1787/b25efab8-en.
- [45] Pärtel Lippus *et al.* „Kõnetempo ja -soravuse varieerumine eesti keeles“. *Eesti Rakenduslingvistika Ühingu aastaraamat* 20 (2024), lk. 149–163. DOI: 10.5128/ERYa20.09.
- [46] Shreyas Seshadri ja Okko Räsänen. „SylNet: An Adaptable End-to-End Syllable Count Estimator for Speech“. *IEEE Signal Processing Letters* 26 (2019), lk. 1359–1363. DOI: 10.1109/LSP.2019.2929415.
- [47] Boris Lobanov ja Vladimir Zhitko. *Software Model of Speech Rate Prosodic Parameters Estimation*. 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.29525.76000. URL: <https://www.researchgate.net/publication/350632149>.
- [48] Google Cloud. *Speech-to-Text - Turn speech into text using Google AI*. [Veebis]. URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text> (vaadatud 11.03.2025).
- [49] Microsoft. *Speech to text documentation*. [Veebis]. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/speech-service/index-speech-to-text> (vaadatud 11.03.2025).
- [50] Tanel Alumäe Aivo Olev. „Estonian Speech Recognition and Transcription Editing Service“. *Baltic J. Modern Computing* 10 (2022), lk. 409–421. DOI: 10.22364/bjmc.2022.10.3.14.
- [51] Haridus- ja Teadusministeerium. *Eestikeelsele õppele ülemineku tegevuskava ja eelarve 2022–2030*. Tallinn, 2022, [Veebis]. URL: https://www.hm.ee/sites/default/files/documents/2024-02/Lisa%201_Eestikeelsele%20%C3%B5ppele%20%C3%BCleminetu%20tegevuskava%202022_2030.pdf (vaadatud 13.05.2025).

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

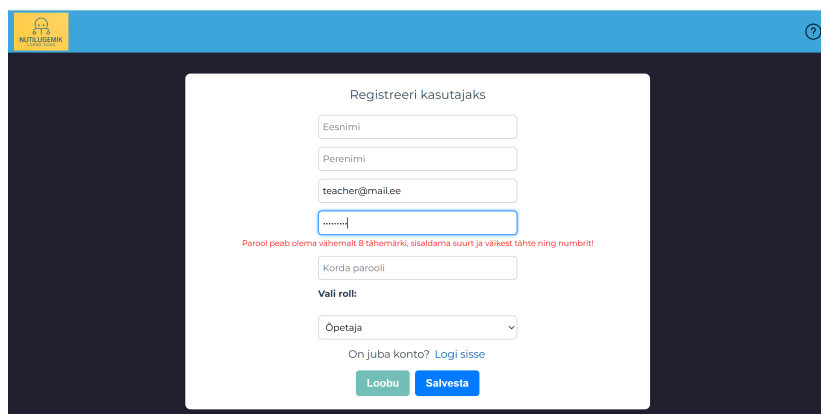
Meie, Eva Lastik ja Karol Törmikoski

1. Anname Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose “Veebirakendus lugemisoskuse arendamiseks”, mille juhendaja on Einar Meister
 - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Oleme teadlikud, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autoritele.
3. Kinnitame, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

03.06.2025

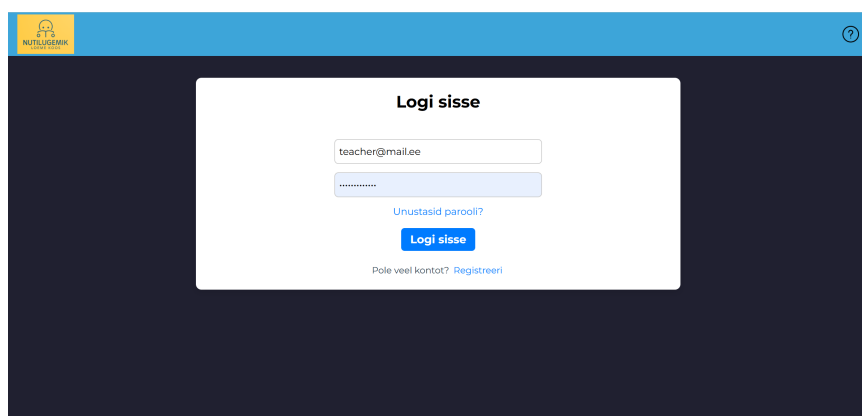
¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Lisa 2 – Rakenduse vaated



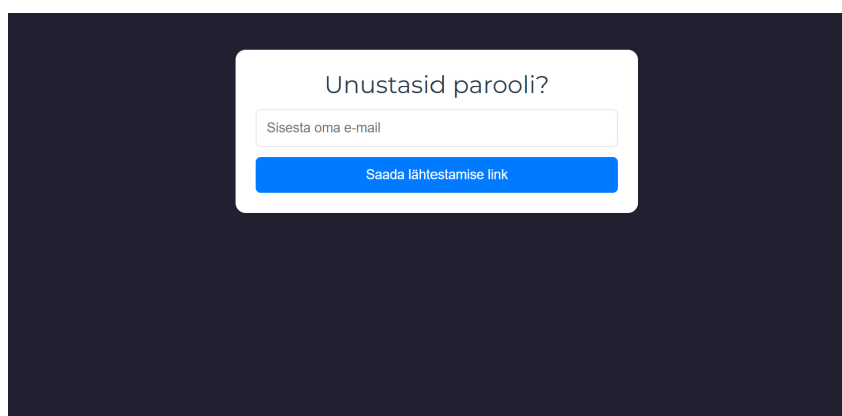
The screenshot shows a registration form titled "Registreeri kasutajaks" on a dark blue background. The form is white and contains the following fields: "Eesnimi" (First name), "Perenimi" (Last name), "Email" (pre-filled with "teacher@mail.ee"), and "Parool" (Password). Below the password field is a red error message: "Parool peab olema vähemalt 8 tähtemärki, sisaldama suurt ja väikest tähte ning numbrit!". There is also a "Korda parooli" (Repeat password) field. A "Vali roll:" (Select role) dropdown menu is set to "Õpetaja" (Teacher). At the bottom, there is a link "On juba konto? Logi sisse" (Already have an account? Log in) and two buttons: "Loobu" (Cancel) and "Salvesta" (Save).

Joonis 2-1. Registreeri kasutaja vaade.



The screenshot shows a login form titled "Logi sisse" on a dark blue background. The form is white and contains the following fields: "Email" (pre-filled with "teacher@mail.ee") and "Parool" (Password). Below the password field is a link "Unustasid parooli?" (Forgot your password?). At the bottom, there is a link "Pole veel kontot? Registreeri" (Don't have an account yet? Register) and a "Logi sisse" (Log in) button.

Joonis 2-2. Logi sisse vaade.

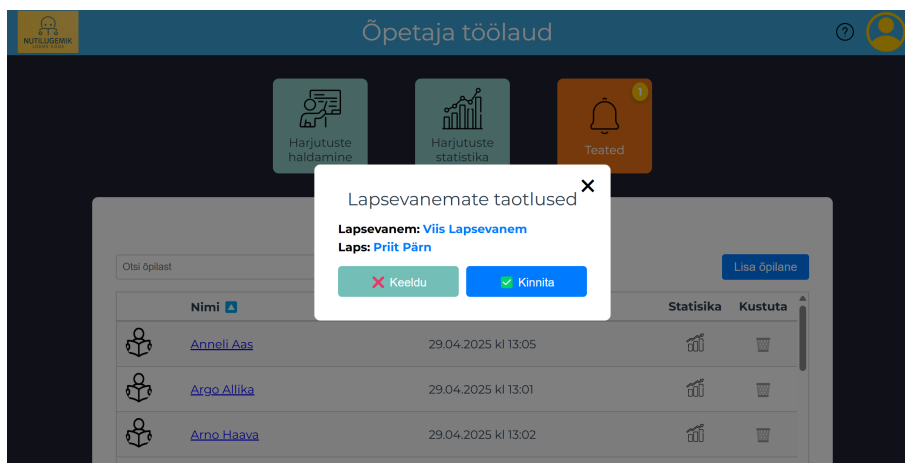


The screenshot shows a form titled "Unustasid parooli?" on a dark blue background. The form is white and contains the following field: "Sisesta oma e-mail" (Enter your email). Below the field is a "Saada lähtestamise link" (Send reset link) button.

Joonis 2-3. Unustasid parooli vaade.



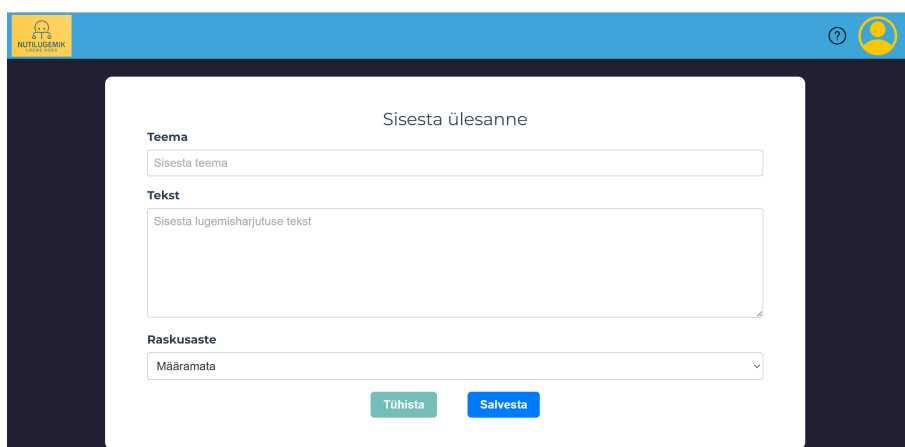
62



Joonis 2-5. Ligipääsu taotluse rahuldamise vaade.



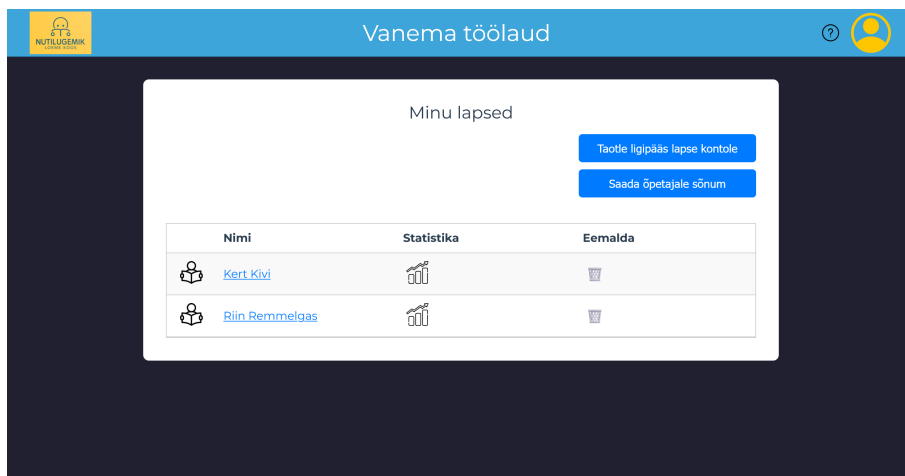
Joonis 2-6. Peatüki harjutuste haldamise vaade.



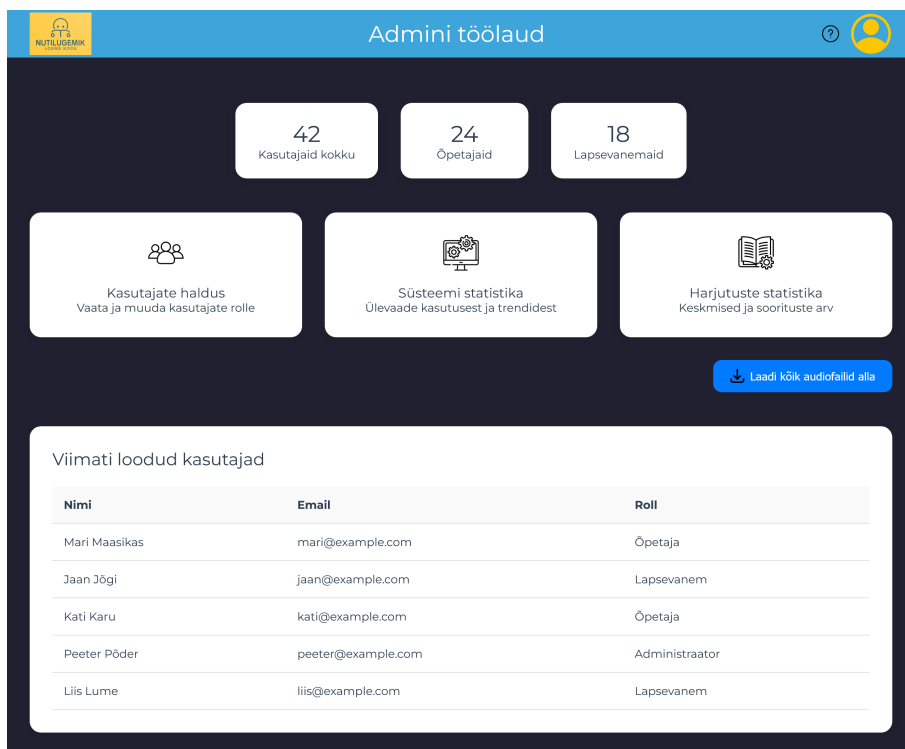
Joonis 2-7. Harjutuse lisamise vaade.



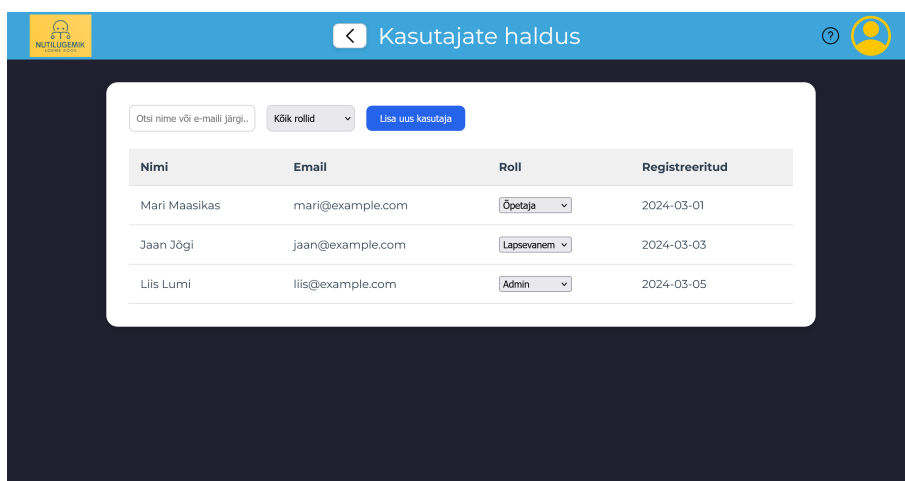
Joonis 2-8. Harjutuse statistika vaade.



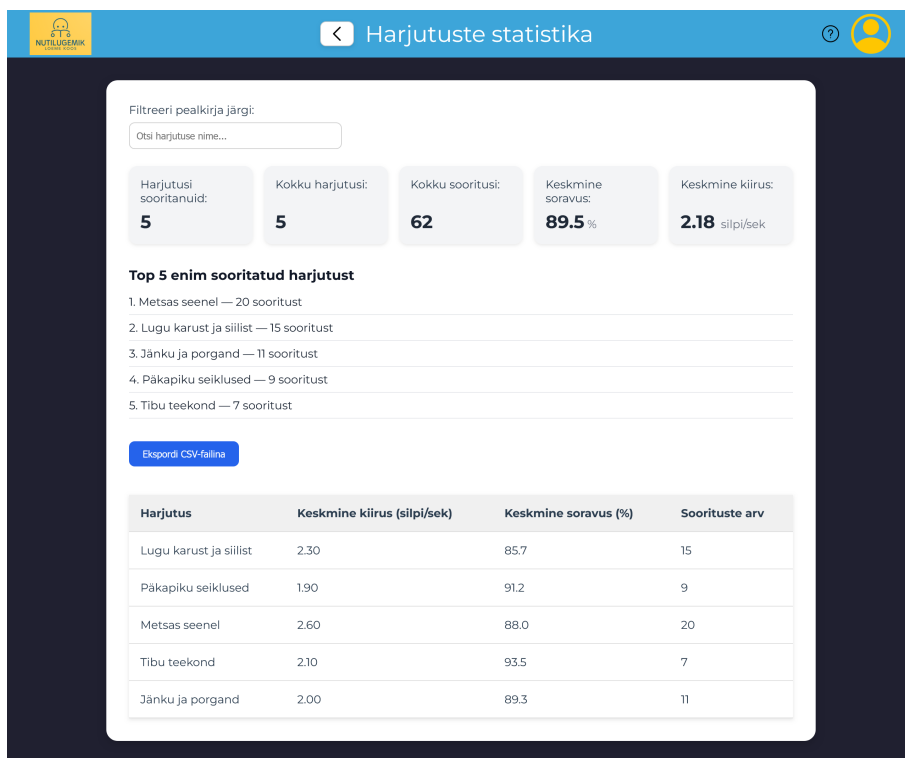
Joonis 2-9. Lapsevanema töölaua vaade.



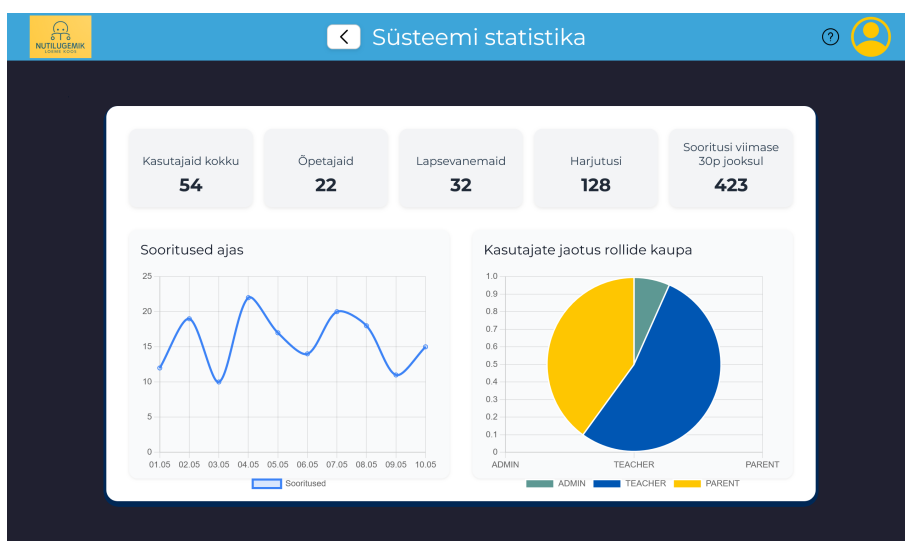
Joonis 2-10. Administraatori töölauda vaade.



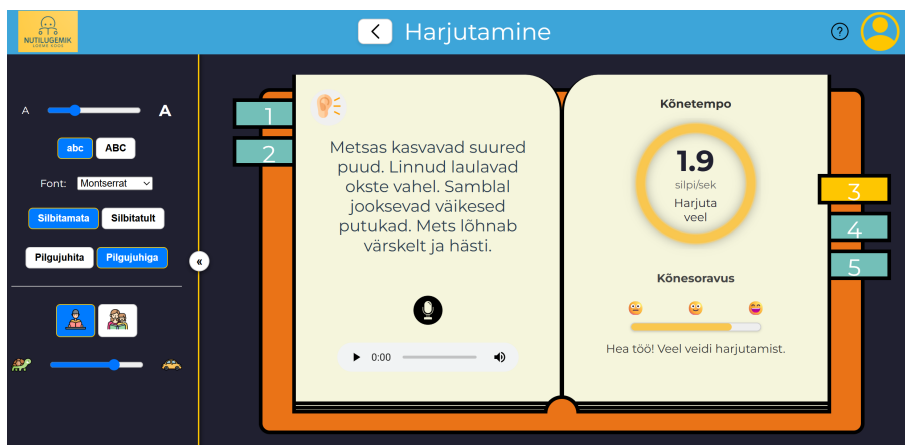
Joonis 2-11. Administraatori töölaud - kasutajate halduse vaade.



Joonis 2-12. Administraatori töölaud - harjutuste statistika vaade.



Joonis 2-13. Administraatori töölaud - süsteemi statistika vaade.



Joonis 2-14. Harjutuse vaade koos tagasisidega - aeglane tempo.



Joonis 2-15. Harjutuse vaade koos tagasisidega - kiire tempo.

Lisa 3 – TA projekti eetikahinnang



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Üliõpilane
karol.tormikoski@taltech.ee
Struktuuriüksus: Tarkvarateaduse instituut

03.03.2025 nr 1-33/19

TA projekti eetikahinnang.

TAOTLEJA	Karol Tõrmikoski
E-POST	karol.tormikoski@taltech.ee
PROJEKTI NIMI	Projekt: Veebirakendus lugemisoskuse arendamiseks
PROJEKTI RAHASTAJA	-
PROJEKTI KESTUS	03.02.25 - 30.06.25
TALTECH ÜKSUS	Tarkvarateaduse instituut

Tallinna Tehnikaülikooli akadeemilise eetika komisjoni hinnangul on projektis "Veebirakendus lugemisoskuse arendamiseks" eetiliste ja andmekaitsete aspektide arvestamine kirjaldatud piisaval määral ning komisjon annab loa kavandatud tegevuste läbiviimiseks.

Komisjoni hinnangu aluseks on 03.02.2025 laekunud taotluses ja lisamaterjalides esitatud informatsioon (protokoll 25.02.2025 nr 1-16/2).

Lugupidamisega

(allkirjastatud digitaalselt)

Vello Tõugu
Akadeemilise eetika komisjoni esimees

TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL

Ehitajate tee 5
19086 Tallinn

Tel 620 2002
E-post info@taltech.ee

Lisa 4 – Lapsevanema nõusolekuvorm



NÕUSOLEKUVORM LAPSEVANEMALE

Uuringu pealkiri:

„Veebirakendus lugemisoscuse arendamiseks“

Teie lapse osalemine uuringus

Aitäh, et kaalute oma lapse osalemist meie uuringus! Palume Teil hoolikalt läbi lugeda alljärgnev teave, et mõista, millised on uuringu eesmärgid, kuidas andmeid kogutakse ja kasutatakse, ning millised õigused Teil ja Teie lapsel on.

Uuringu eesmärk

Tallinna Tehnikaülikoolis (TalTech'is) läbiviidava uuringu eesmärk on arendada veebirakendus, mis toetab laste lugemisoscuse arendamist ja hindamist. Selle raames salvestatakse laste lugemisharjutusi ja analüüsitakse nende kõnenäidiseid, et täiendada ülikooli keeletehnoloogia labori kõnekorpus ja luua uusi kõneanalüüsi meetodeid, mis sobivad just laste kõnele.

Veebirakendus arendatakse bakalaureuse informaatika eriala lõputöö raames.

Kuidas kogutud andmeid kasutatakse ja säilitatakse?

- Kõnenäidiseid kasutatakse TalTechi keeletehnoloogia labori kõnekorpus täiendamiseks, et neid hiljem teadustöös rakendada, ning veebirakenduse kõneanalüüsi korrektsuse valideerimiseks.
 - **Luba andes** lisatakse Teie lapse kõnesalvestised (koos lapse soo ja vanusega) määramata ajaks ülikooli keeletehnoloogia labori kõnekorpusse.
 - **Ilma Teie loata** ei talletata salvestisi keeletehnoloogia labori kõnekorpusse ega veebirakenduse andmebaasi.
- Kõik andmed (kõnenäidised, sünniaasta ja sugu) seotakse ainult anonüümse ID-ga, et tagada Teie lapse konfidentsiaalsus. Isikut otseselt tuvastada võimaldavaid andmeid, nagu nimi või kontaktandmed, ei salvestata koos kõnekorpus andmetega.
- Kõnenäidised ja seotud andmed salvestatakse Tallinna Tehnikaülikooli turvatud serverites. Juurdepääs neile on rangelt piiratud volitatud teadlaste ja uurimisrühma liikmetega.

Teie õigused

- Teie lapse osalemine uuringus on täiesti vabatahtlik.
- Teil on õigus keelduda kõnenäidiste säilitamisest kõnekorpus. Sel juhul kustutatakse salvestised automaatselt 24 tunni pärast kõnesalvestise analüüsimist.
- Teil on õigus taotleda oma lapse andmete kustutamist **6 kuu jooksul alates andmete kogumise kuupäevast**. Pärast seda perioodi muudetakse andmed anonüümseks ja integreeritakse suuremasse teadusandmekogusse, mille tulemusel pole andmete kustutamine enam võimalik, kuna anonüümseks muudetud andmeid ei saa enam konkreetse isikuga seostada

Uuringu riskid ja kasu

- **Riskid:** Uuringuga ei ole teadaolevalt seotud füüsilisi ega psühholoogilisi riske. Teie lapse andmeid töödeldakse ja säilitatakse turvaliselt ning nende privaatsus on tagatud.
- **Kasu:** Uuring aitab kaasa lugemisoskuse arendamiseks mõeldud uute tehnoloogiate loomisele, mis võivad tulevikus toetada teisi lapsi õppimisel.

Uuringu läbiviija

- **Uuringu läbiviija:** Tallinna Tehnikaülikool
- **Uurijad:** bakalaureusetöö autorid - Eva Lastik, Karol Törmikoski
- **Juhendaja:** Einar Meister, PhD, Keeletehnoloogia laboratooriumi vanemteadur

Uuringu läbiviimiseks on olemas Tallinna Tehnikaülikooli akadeemilise eetika komisjoni luba.

Kontaktandmed

Kui teil on uuringu kohta täiendavaid küsimusi, palun pöörduge Taltech'i keeletehnoloogia labori vanemteaduri Einar Meister, einar.meister@taltech.ee või TalTech andmekaitse spetsialisti Henri Schasmin poole, henri.schasmin@taltech.ee või 53340596.

Nõusolekuvorm

Mina, _____, olen saanud informatsiooni uuringu kohta ning annan nõusoleku oma lapse osalemiseks uuringus. Olen teadlik, kuidas ja millistel tingimustel andmeid kasutatakse ning kuidas tagatakse nende turvalisus ja konfidentsiaalsus.

Palun märkige oma valik:

- ☐ Annan nõusoleku, et minu lapse kõnenäidised lisatakse ülikooli keeletehnoloogia labori kõnekorpusesse.
- ☐ Ei anna nõusolekut kõnenäidiste pikaajaliseks säilitamiseks. Palun kustutage need pärast analüüsi.

Lapse nimi: _____

Lapse sünniaasta: _____ Lapse sugu: _____

Vanem / eestkostja allkiri: _____

Kuupäev: _____

Lisa 5 – Andmehaldusplaan

LISA TAOTLUSELE TA PROJEKTILE EETIKAHINNANGU SAAMISEKS

ANDMEHALDUSPLAAN

Administratiivsed andmed

ID

Puudub

Rahastaja

Puudub

Grandi number

Puudub

Projekti nimi

“Veebirakendus lugemisoscuse arendamiseks”

Projekti kirjeldus

Projekti eesmärk on arendada veebirakendus, mis toetab algklasside õpilaste lugemisoscuse arendamist ja võimaldab koguda kõnenäidiseid TalTech keeletehnoloogia labori kõneorpuse täiendamiseks.

Rakendus aitab analüüsida laste lugemisoscust, kasutades personaliseeritud harjutusi, salvestades kõnenäidiseid ning pakkudes metoodikat, mis hindab loetud teksti korrektsust. Projekt hõlmab laste kõnenäidiste töötlemist ja analüüsimist, et leida sobivaid meetodeid ja tööriistu laste kõne analüüsimiseks.

Veebirakendus arendatakse informaatika eriala bakalaureusetöö raames. Töö juhendajaks on Taltech'i keeletehnoloogia vanemteadur Einar Meister, PhD.

Uuringu juhid

Karol Tõrmikoski, Eva Lastik

Projekti andmehaldurid

Bakalaureusetöö autorid:

Eva Lastik (IAIB222415), [redacted], evlast@taltech.ee

Karol Tõrmikoski (IAIB222622), [redacted], ktormi@taltech.ee

Esmase versiooni kuupäev

20.01.2025

Viimane uuenduste kuupäev

29.01.2025

Seotud eeskirjad

- Tallinna Tehnikaülikooli teadusandmete haldamise juhised - <https://taltech.ee/raamatukogu/teadusandmete-haldamine>
- Isikuandmete kaitse seadus - <https://www.riigiteataja.ee/akt/104012019011?leiaKehtiv>

- EL-i isikuandmete kaitse üldmäärus (GDPR) - <https://eur-lex.europa.eu/ET/legal-content/summary/general-data-protection-regulation-gdpr.html>
- TalTechi hea teadustava - https://haldus.taltech.ee/sites/default/files/2019-09/hea_teadustava_est.pdf

Andmete kogumine

Milliseid andmeid kogutakse või luuakse?

Bakalaureusetöö raames plaanime koguda I kooliastmesse kuuluvate laste kõnenäidiseid, nendega seotud metaandmeid (nt salvestamise kuupäev ja kellaaeg, failiformaat, faili maht ja salvestuse pikkus) ning andmeid lapse kohta (pseudonüümne ID, vanus salvestuse tegemisel, sugu) ja uuringus osalevate laste isikuandmeid (nimi, sünniaasta, sugu).

Kuna projekti käigus kogutakse alla 13-aastaste laste kõnenäidiseid ja isikuandmeid, siis vastavalt Isikuandmete kaitse seaduse § 8 punkt 2-le toimub andmete kogumine ainult lapsevanema informeeritud nõusoleku alusel. Nõusolekuvormi täitmisega seoses kogume samuti lapsevanema isikuandmed (lapsevanema nimi, e-maili aadress), et oleks võimalik seostada last ja tema andmete kasutamiseks loa andnud lapsevanemat.

Kõnenäidised:

- Veebirakenduse PostgreSQL andmebaasis hoiame lapse kõnesalvestisi blob-formaadis, kuna see võimaldab andmeid hoida tsentraalselt ühes kohas, lihtsustades haldamist, varundamist ja ligipääsu kontrollimist, ilma eraldi failiserverit kasutamata. Veebirakenduse andmebaasis hoitakse salvestusi vaid ajutiselt.
- Kogutakse kuni 30 lapse kõnesalvestisi, mille kogumaht on hinnanguliselt kuni 10GB.
- Lõplik varundamine toimub wav-formaadis TalTechi keeletehnoloogia labori serveris, kui serveriprobleemid on lahendatud (aprillis-mais 2025). Kuni selle ajani hoitakse salvestusi ja metaandmeid turvaliselt TalTechi Microsoft SharePointi keskkonnas. SharePoint võimaldab turvalist failide haldamist, varundamist ja ligipääsupiirangute rakendamist.

Nõusolekuvorm:

- Nõusolekuvorm täidetakse paberkandjal ning skaneeritakse hiljem PDF-vormingus.

Muud andmed:

- Isiku- ja metaandmeid hoitakse PostgreSQL andmebaasis struktureeritud kujul, kuid neid saab vajadusel eksportida või importida CSV-vormingus.

Kuidas andmeid kogutakse ja luuakse?

Andmete kogumisel lähtume minimaalsuspõhimõttest - kogume isikuandmeid nii vähe kui võimalik, nii palju kui vajalik.

ANDMETE KOGUMISE MEETOD

- Kõnenäidised kogutakse arendatava veebirakenduse kaudu, mis salvestab automaatselt unikaalse ID-ga seotud salvestised esmaseks analüüsiks TalTechi Tarkvarateaduste Instituudi serveris asuvasse PostgreSQL andmebaasi. Rakendus salvestab heli kasutaja arvuti mikrofonist, kasutades veebitehnoloogiat MediaRecorder API.

PostgreSQL andmebaas asub TalTechi turvatud serveris, millele pääsevad ligi ainult volitatud andmehaldurid, kasutades SSH-võtmeid. Andmebaas on kaitstud tugeva parooliga, mis tagab, et andmed on kaitstud volitamata juurdepääsu eest. Lisaks on server ja andmebaas varustatud logide jälgimise ja regulaarsete turvavärskendustega, et ennetada võimalikke turvarikkumisi.

- Salvestised kogutakse lapse lugemisharjutuste sooritamise käigus, õpetaja või lapsevanema juuresolekul. Vahetult peale lugemisharjutuse lõppu on võimalik õppemetoodilisel eesmärgil ka salvestust rakenduses ette mängida ja kuulata. See võimalus säilib kuni harjutus-sessiooni lõpuni ehk kuni lugemisharjutuste vaate sulgemiseni.
- Rakenduses salvestise wav-fail saadetakse tagarakendusse HTTPS-i (*Hypertext Transfer Protocol Secure*) protokolliga, mis tagab, et andmeid ei saaks ülekande ajal pealt kuulata ega muuta. HTTPS-i protokolliga jaoks on veebilehe veebiserveril SSL/TLS sertifikaat.
- Nõusolekuvormid kogutakse paber kandjal enne katse algust.

Kõiki kogutavaid andmeid hoitakse pseudonüümimise eesmärgil lahus, mitmes erinevas asukohas (täpsemalt peatükis "Säilitamine ja varundamine"):

- 1) TalTechi keeletehnoloogia labori server (ning sellele eelnevalt ajutiselt Microsoft Sharepoint keskkond)
- 2) Rakenduse PostgreSQL andmebaas TalTechi serveris
- 3) Paber kandjal

Eetika ja õiguslikud aspektid

Kuidas lahendatakse võimalikud eetilised probleemid?

Eetilised meetmed:

Projekti käigus kogutakse ja analüüsitakse I kooliastmesse kuuluvate laste kõnenäidiseid, mille käigus võivad tekkida järgmised eetilised riskid:

1. **Isikuandmete kaitse:** Kuna projekti raames kogutakse isikuandmeid (nt lapsevanema nimi, kontaktandmed, lapse nimi, sünniaasta ja sugu), on oluline tagada, et andmed oleksid kaitstud volitamata juurdepääsu eest.
 - **Meetmed:** Isikuandmed hoitakse rangelt eraldi kõnenäidistest, mis on pseudonüümseks muudetud, kasutades unikaalseid ID-sid. Ligipääs andmetele on piiratud ainult volitatud isikutega.
2. **Laste ja alaealiste osalemine:** Lapsed on haavatav sihtrühm, mistõttu on vajalik tagada nende heaolu ja vaba tahe uuringus osalemiseks.
 - **Meetmed:** Laste osalemiseks saadakse lapsevanema teadlik nõusolek, mis selgitab uuringu eesmärgi, andmete kasutamist ja osalejate õigusi. Osalemine on täiesti

vabatahtlik ning lapsevanematel on õigus andmete kustutamist taotleda 6 kuu jooksul pärast andmete kogumist.

3. **Andmete pikaajaline säilitamine:** Projekti eesmärk on kogutud kõnenäidiste säilitamine teadustööks määramata ajaks, mis võib tekitada küsimusi andmete taaskasutuse eetilise osas.
 - **Meetmed:** Kõik kõnenäidised anonüümitakse (6 kuud peale nende kogumist), eemaldades kõik isikutega seotud tuvastatavad andmed, mistõttu neid ei saa hiljem konkreetsete isikutega siduda.
4. **Andmete turvalisus:** Kõnenäidiste ja isikuandmete säilitamine digitaalsetes keskkondades võib olla haavatav küberohtudele.
 - **Meetmed:** Andmed hoitakse TalTechi turvatud serverites, kasutades tugevat autentimist (SSH võtmeid) ja rollipõhiseid juurdepääsuõigusi. Kõik andmebaasi või serveri päringud logitakse, et tagada läbipaistvus ja turvalisus.

Intellektuaalomandiõigused:

- Kõik andmed kuuluvad Tallinna Tehnikaülikoolile.
- Projekti tulemused tehakse avalikult kättesaadavaks.

Säilitamine ja varundamine

Kuidas andmeid uuringu jooksul salvestatakse ja varundatakse?

ANDMETE SÄILITAMINE

Andmeid säilitatakse teadlikult mitmes erinevas asukohas alljärgnevatel eesmärkidel:

- tagada kõrgem turvalisus läbi hajutamise
 - Andmete hoidmine eraldatud digitaalsetes keskkondades vähendab riski, et volitamata juurdepääsu korral oleks võimalik kõiki andmeid korraga koguda ja seostada.
 - Kui ühte asukohta mõjutab rike, juurdepääsukadu või turvarikkumine, jäävad teised andmekogumid puutumatuks, säilitades projekti andmete terviklikkuse.
 - Kui ühte asukohta mõjutab rike, juurdepääsukadu või turvarikkumine, jäävad teised andmekogumid puutumatuks, säilitades projekti andmete terviklikkuse.
- pseudonüümsuse tugevdamine
 - Pseudonüümitud andmed (nt lapse ID, vanus, sugu ja salvestised) hoitakse eraldi isikut tuvastavatest andmetest (nt lapse nimi, vanema kontaktandmed).
 - See lähenemine vähendab isikuandmete tuvastamise riski, kuna ID-de ja isikutuvastavate andmete ühendamise on võimalik ainult spetsiifilistes olukordades, näiteks vanema soovil andmete kustutamisel.
- andmekaitse:
 - Isikuandmete kaitse üldmäärus (GDPR) ja TalTechi andmekaitsepoliitika nõuavad, et andmeid kogutaks, säilitataks ja kasutataks minimaalsuspõhimõtte järgi. Andmete lahus hoidmine aitab järgida seda põhimõtet, kuna igas asukohas hoitakse ainult vajalikke andmeid kindla eesmärgi saavutamiseks.

Andmete säilitamise asukohad:

1. TalTech keeletehnoloogia labori server (ning sellele eelnevalt ajutiselt Microsoft Sharepoint keskkond) – pikaajaline säilitamine ja teadustöös kasutatavad pseudonüümitud andmed.
2. Rakenduse PostgreSQL andmebaas – veebirakenduse tööks vajalikud operatiivsed andmed.
3. Paberkandjal nõusolekuvormid – juriidiliste ja eetiliste nõuete täitmiseks vajalikud andmed.

Täpsemalt on andmed nende asukohtade vahel jaotatud alljärgnevalt:

1. TalTech keeletehnoloogia labori serveris (eelnevalt ajutiselt MS Sharepoint keskkonnas) olevad pseudonüümitud kõnesalvestised

- Sisu: Kõnesalvestised (wav formaadis), lapse pseudonüümne ID, vanus, sugu, salvestise kuupäev, lugemisharjutuse tekst.

2. Rakenduse PostgreSQL andmebaasis olevad operatiivsed andmed

- Sisu: Lapse pseudonüümne ID, nimi (ees- ja perekonnanimi), sünniaasta, sugu, lapsevanema nõusoleku olemasolu.

3. Paberkandjal nõusolekuvormid

- Sisu: Lapsevanema (või lapse seadusliku esindaja) ees- ja perekonnanimi, e-maili aadress, esindatava lapse ees- ja perekonnanimi, sünniaasta, sugu.

NÄITED ANDMETE SÄILITAMISE STRUKTUURIDEST:

Kõnenäidise_ID	Lapse pseudonüümne ID	Vanus salvestuse ajal	Sugu	Kõnesalvestise asukoha URL või tee	Salvestise_salvestamise_kuupäev_kellaaeg	Lugemisharjutuse tekst
1	A001	8	M	/serveri/asukoht/A001_v1_2025-04-06.wav	2025-04-06 14:26	Aias sadas saia. ..
2	A002	7	N	/serveri/asukoht/A002_v1_2025-03-06.wav	2025-03-06 13:01	Aias sadas saia. ..
3	A001	8	M	/serveri/asukoht/A001_v2_2025-04-07.wav	2025-04-07 15:26	Metsas on talv. ...

Tabel 1. Näide TalTechi keeletehnoloogia labori andmebaasi tabeli struktuurist

ID	Lapse pseudonüümne ID	Nimi	Sünniaasta	Sugu	Lapsevanema nõusolek
1	A001	Andres Tamm	2017	M	Jah
2	A002	Liisa Kask	2018	N	Jah

Tabel 2. Näide Rakenduse andmebaasi tabeli struktuurist.

Paberkandjal kogutavate nõusolekuvormide säilitamine

- Pärast lapsevanemate poolt täidetud nõusolekuvormide kogumist skaneeritakse kõik vormid PDF-vormingus. Enne skaneerimist hoitakse paberkandjal nõusolekuvorme turvalises ja piiratud juurdepääsuga kohas, nt lukustatud sahtlis või kapis.
- Skaneeritud failid salvestatakse ülikooli Microsoft SharePointi'i keskkonda, millele on juurdepääs ainult projekti liikmetel.
- Peale skaneerimist paberkandjal nõusolekuvormid hävitatakse turvaliselt (näiteks hävitusmasinaga).
- Ligipääs kaustale on kaitstud ülikooli kaheastmelise autentimisega (2FA) kõigile liikmetele.
- Failid nimetatakse järgnevalt: nõusolek_lapse_ID_kuupaev.pdf. (Lapse_ID'na käsitletakse PostgreSQL andmebaasis lapsele tema andmete sisestamisel automaatselt genereeritud pseudo ID-d)
- Säilitamispoliitika:
 - Failid säilitatakse vähemalt 12 kuud peale projekti lõppu.

Andmete depseudonüümimine

Andmete depseudonüümimiseks võib vajadus tekkida juhul, kui lapsevanem soovib nõusolekuvormil määratud ajavahemiku sees siiski oma nõusoleku tagasi võtta ning paluda esindatava lapse kõnenäidised kustutada.

Depseudonüümimiseks tuleks ühendada andmed kahest erinevast andmebaasist ning nõusolekuvormilt.

ANDMETE VARUNDAMINE

ANDMETE VARUNDAMISE EESMÄRK ON TAGADA ANDMETE SÄILIMINE JA KAITSE NENDE ERINEVATES SALVESTUSKOHTADES:

1. Microsoft SharePoint:

- Ajutine säilitamine: Kuni bakalaureusetöö valmimiseni salvestatakse kõnenäidised wav-formaadis SharePointi keskkonnas, seejärel varundatakse keeletehnoloogia labori serveris.

- Turvalisus ja varundamine: Juurdepääs SharePointi kaustadele on piiratud projekti liikmetega ning kaitstud kaheastmelise autentimisega. SharePoint võimaldab turvalist failide haldamist, varundamist ja ligipääsupiirangute rakendamist. Lisaks varundatakse andmed kord nädalas SharePointist välisele kõvakettale.
- Sisu: Kõnesalvestised (wav-formaadis), lapse pseudonüümne ID, vanus, sugu, salvestise kuupäev, lugemisharjutuse tekst.

2. TalTech Keeletehnoloogia labori serveris olevad pseudonüümitud kõnesalvestised

- Sisu: Kõnesalvestised (wav-formaadis), lapse pseudonüümne ID, vanus, sugu, salvestise kuupäev, lugemisharjutuse tekst.
- Sagedus: Automaatne igapäevane varundamine TalTechi serverites, kasutades nt rsync tööriista

3. Rakenduse PostgreSQL andmebaasis olevad operatiivsed andmed

- Sisu: Lapse pseudonüümne ID, nimi (ees- ja perekonnanimi), sünniaasta, sugu, lapsevanema nõusoleku olemasolu.
- Sagedus: Andmebaasi varundamine toimub igapäevaselt kell 02:00 automaatse cron-töö abil.
- Varundamiseks kasutatakse PostgreSQL tööriista pg_dump; taastamiseks tööriista pg_restore
- Säilitamise poliitika: Säilitatakse viimase 7 päeva varundusfailide versioonid. Versioonid, mis on vanemad kui 7 päeva, kustutatakse automaatselt.

4. Paberkandjal nõusolekuvormid

- Microsoft SharePointi infrastruktuur tagab automaatse varundamise ja versioonihalduse. Lisaks säilivad kustutatud failide koopiad Sharepointi prügikastis 30 päeva, võimaldades nende taastamist vajaduse korral. See tagab, et failid on kaitstud ka ootamatu kustutamise või süsteemirikkega seotud andmekao eest.

Valik ja säilitamine

Projekti käigus kogutud andmed, mis on pikaajalise väärtusega ja teadustöös kasulikud, hõlmavad järgmist:

1. **Anonümiseeritud laste kõnenäidised**
 - Need salvestised on oluline teadusressurss, mida saab kasutada edasistes keeletehnoloogilistes uuringutes ja kõneanalüüsi metoodikate arendamiseks.
 - Säilitame kõnenäidiseid TalTechi Keeletehnoloogia labori serveris pikaajaliselt, kuna need on teaduslikult ja hariduslikult taaskasutatavad.
2. **Metaandmed kõnesalvestiste kohta**
 - Lapse vanus, sugu, salvestamise kuupäev, lugemisharjutuse tekst ja tehnilised andmed (failiformaat, pikkus, suurus). Metaandmed võimaldavad kõnenäidiste taaskasutust uute teadusprobleemide lahendamisel.

Kõnenäidiste anonümiseerimine toimub hiljemalt 6 kuud peale projekti lõppu, kui kustutatakse koodivõti (pseudonüümne ID rakenduse andmebaasis). Pärast koodivõtme kustutamist ei ole andmeid võimalik konkreetse lapsega seostada.

ARENDUSTEGEVUSEGA SEOTUD ANDMETE HALDAMINE

Milliseid andmeid kogutakse ja luuakse?

Veebirakenduse arendamise käigus luuakse järgmised andmed ja materjalid:

1. **Kood ja konfiguratsioonifailid**
 - Rakenduse lähtekood on kirjutatud Java programmeerimiskeeles ja arendamiseks kasutatakse **IntelliJ IDEA** arenduskeskkonda.
 - Projekti konfiguratsioonifailid, sh sõltuvuste haldamise (Gradle) ja serverite seadistuse failid.
2. **Versioonihaldusandmed**
 - Koodi muudatuste ajalugu ja versioonihaldus toimub TalTechi GitLabi repositooriumis. Iga muudatus dokumenteeritakse, et oleks võimalik jälgida arenduse kulgu.
3. **Dokumentatsioon**
 - **Koodi dokumentatsioon:** Klasside ja funktsioonide kommentaarid, mis selgitavad nende eesmärgi ja toimimist.
 - **Projekti halduse dokumentatsioon:** Projekti plaanid, ülesannete jaotused, tähtaegade jälgimine ning arenduse prioriteedid. Hallatakse Gitlabis.
 - **Kasutusjuhendid:** Rakenduse käivitamise, seadistamise ja kasutamise juhised, mis aitavad kasutajatel ja arendajatel rakendust mõista ja kasutada.

Kuidas andmeid hallatakse?

- **Versioonihaldus ja salvestamine:**
Kogu kood, konfiguratsioon ja dokumentatsioon hallatakse TalTechi **GitLabi repositooriumis**, kus on tagatud andmete turvalisus ja varundamine.
- **Ligipääs:**
Ligipääs repositooriumile on piiratud projekti meeskonnaliikmetega, kasutades GitLabi juurdepääsukontrolli.

Kuidas andmeid säilitatakse ja jagatakse?

1. **Koodi ja dokumentatsiooni pikaajaline säilitamine:**
 - Koodi lõplik versioon ja dokumentatsioon arhiveeritakse TalTechi GitLabi serverites ning säilitatakse vähemalt 5 aastat pärast projekti lõppu.
 - Kui vajalik, tehakse koodi ja dokumentatsiooni koopiad TalTechi Keeletehnoloogia labori repositooriumisse.

Andmete turvalisus ja varundamine

1. **TalTechi GitLab:**
 - TalTechi GitLabi infrastruktuur pakub regulaarset automaatset varundamist ja turvalist andmesäilitamist.
 - Juurdepääs repositooriumile on kaitstud kasutajanime ja parooliga ning juurdepääsupiirangutega, mis tagavad, et ainult volitatud isikud saavad andmeid vaadata ja muuta.

2. Varundus ja arhiivimine:

- Olulised arendusmaterjalid (nt lõplik kood ja dokumentatsioon) arhiveeritakse TalTechi Keeletehnoloogia labori repositooriumisse.

Pikaajaline väärtus ja taaskasutus

1. Teadustöö ja hariduse tugi:

- Koodil on potentsiaal olla alus edasistele arendustele, näiteks keeletehnoloogiliste rakenduste edasiarendamiseks või haridusrakenduste loomisel.

2. Taaskasutus:

- Lõplik kood ja metoodika võivad olla aluseks sarnaste teadusuuringute või arendustööde läbiviimisel.

Vastutusala ja ressursid

Vastutajad:

Andmehaldusplaani koostamine ja kasutamine -

Bakalaureusetöö autorid: Eva Lastik (IAIB222415), Karol Törmikoski (IAIB222622)

Andmehaldusplaani üle vaatamine - bakalaureusetöö juhendaja: Einar Meister, PhD

Andmete kogumine, metaandmete loomine, kvaliteet, salvestamine ja varundamine -

Eva Lastik (IAIB222415), Karol Törmikoski (IAIB222622)

Kõnenäidiste pikaajaline säilitamine, arhiveerimine ja jagamine - Einar Meister, PhD

Lisa 6 – Tagasisideküsimustik

Küsitluse eesmärk: Hinnata loodud rakenduse kasutatavust, funktsionaalsust ja sobivust sihtrühma vajadustega.

Sihtgrupp: Algklassiõpetajad ja haridusspetsialistid.

Küsitluse vorm: Google Forms.

Küsimused:

1. Roll (nt klassiõpetaja, eripedagoog) (*lühivastus*)
2. Organisatsioon / kool (*lühivastus*)
3. Milline esmamulje Teile rakendusest jäi?
(*Valikvastused: väga positiivne, pigem positiivne, neutraalne, pigem negatiivne, väga negatiivne*)
4. Selgitage lühidalt (*avatud vastus, vabatahtlik*)
5. Kas rakendus võiks olla kasulik lugemisoskuse arendamisel?
(*Valikvastused: kindlasti, pigem jah, pigem ei, ei, ei oska öelda*)
6. Põhjendage valikut (*avatud vastus, vabatahtlik*)
7. Milliseid olemasolevaid funktsioone hindate enim?
(*Mitmikvalik: fontide ja sätete valik, karaokelugemine, sünkroonlugemine, audio salvestamine, loetu tagasimängimine, lugemiskiiruse hindamine, harjutustekstide lisamine, statistika jälgimine, muu*)
8. Milliseid lisafunktsioone sooviksite näha? (*avatud vastus*)
9. Kas rakenduse ülesehitus ja navigeerimine tundus loogiline?
(*Valikvastused: jah, pigem jah, pigem ei, ei*)
10. Kas miski tekitas segadust või frustratsiooni? (*avatud vastus*)
11. Kellele võiks rakendus sobida?
(*Mitmikvalik: algkooliõpilased, erivajadustega õppijad, eesti keelt teise keelena õppijad, keeleõppijad, lapsevanemad, muu*)
12. Kas rakendus võiks olla kasulik Teie igapäevatoos?
(*Valikvastused: jah, pigem jah, pigem ei, ei*)
13. Kommentaar (*avatud vastus, vabatahtlik*)
14. Mis Teile rakenduse juures kõige rohkem meeldis? (*avatud vastus*)
15. Kas Teil on veel mõtteid või ettepanekuid? (*avatud vastus*)

Lisa 7 – Ekspertarvamus

Lugemise harjutamine on ülioluline osa lapse arengust. Ka teadusuuringud näitavad seost varajase kirja- ja lugemisoskuse ning hilisema akadeemilise edukuse vahel. Laps, kes juba varakult omandab hea lugemis- ja kirjaoskuse, on paremas positsioonis mõistmaks erinevaid aineid, lahendamaks probleeme ja arendamaks oma loovust. Samal ajal seisavad paljud õpetajad ja lapsevanemad küsimuse ees, kuidas motiveerida lapsi, kes ei taha või ei suuda lugemise harjutamisele keskenduda.

Siinkohal on tudengite loodud interaktiivne nutilugemik suurepärane lahendus. See tööriist on aktiivselt kaasav rakendus, mis muudab lugemise harjutamise mängulisemaks ja annab võimaluse jälgida lapse arengut. On eriti kiiduväärt, et rakenduses saab ise sisestada tekste, mis võimaldab lapsele tuttavate või huvitavate teemade kaudu suurendada tema huvi lugemise vastu. Tulevikus etteantud tekstide valik aitab õpetajatel ja lapsevanematel jõuda kiiremini sobiva materjalini ning aega kokku hoida.

Väga positiivne on, et rakenduses on palju asjakohaseid funktsionaalsusi. Rakenduses saab valida lugemisstiili, muuta teksti suurust, valida joonistähete ning kirjatähete vahel, mis võimaldab rakendust kasutada nii algajatel kui ka edasijõudnud lugejal. Nutilugemik annab individuaalset tagasisidet lugemissoravusele. Eriti tooksin esile Eesti Keele Instituudi “Õpetaja tööriista” sõnavaramooduli integratsiooni, mis võimaldab määrata teksti raskustaset vastavalt Euroopa keeleõppe raamdokumendile, valida erineva raskustasemega tekste ning seeläbi õpet diferentseerida. Tegemist on väga aktuaalse teemaga võttes arvesse eestikeelsele õppele üleminekut ning Eesti kaasava hariduse praktikat.

Tuleviku võimalusi vaadates avaneb põnev perspektiiv laste kõnetuvastuse integreerimisel. ALPA Kids on koostöös TalTechi keelabori juhataja dr. Tanel Alumäega tegelenud Eesti laste kõnetuvastusmodelite treenimisega. Kui see tehnoloogia liita loodud lugemirakendusega, avaneks võimalus pakkuda kohest tagasisidet ka loetu täpsusele. Selline funktsioon aitaks lapsel kohe mõista, mis tekstiosa vajab rohkem harjutamist.

Karol Törmikoski ja Eva Lastiku loodud lahendusel on kahtlemata oluline väärtus Eesti haridusmaastikul, kus innovatsioon ja teaduspõhisus kohtuvad praktilise vajadusega. Oluline on rõhutada just eesti keeles kasutamiseks mõeldud rakenduste olulisust, sest enamik teenuseid on kättesaadavad maailma enim kõneldud keeltes jättes vähem kõneldud keeli kõnelevad lapsed ebavõrdsesse olukorda. Nii lapsevanema kui ka digihariduse entusiastina loodan, et loodud rakendus jõuab peagi avalikult lõppkasutajateni ja olen valmis tudengeid selle juures aitama nii ALPA Kidsiga töövõimaluste kaudu kui ka Edtech Estonia liikmeks kutsumise läbi. Kokkuvõttes võib öelda, et nutilugemiku projekt on hästi läbimõeldud, praktilise väärtusega ja innovaatiline lahendus, mis aitab täita olulist lünka varajase lugemisoskuse arendamisel.

Kelly Lilles

Haridustehnoloogia ettevõtte ALPA Kids tegevjuht ja asutaja
Eesti Keele Instituudi nooremteadur.
Edtech Estonia asutajaliige ja ekspordikomisjoni liige
Euroopa Komisjoni poolt määratud digihariduse saadik Eestis
Tallinna Ülikooli lingvistika teadmusriide doktorant

Lisa 8 – API lõpp-punktid

Kontroller	Meetod & Tee	Kirjeldus	Ligipääsuõigused
UserController	POST /api/users/register	Registreeri uus kasutaja	avalik
	GET /api/users/me	Tagasta sisselogitud kasutaja andmed	admin, teacher, parent
StudentController	GET /api/students/{encryptedId}	Tagasta antud id-ga õpilase andmed	admin, teacher, parent
	PUT /api/students/{encryptedId}	Uuenda antud id-ga õpilase andmeid	admin, teacher
	DELETE /api/students/{encryptedId}	Kustuta antud id-ga õpilane	admin, teacher
	PUT /api/students/remove-parent/{encryptedId}	Eemalda õpilase ja lapsevanema vaheline seos	parent
	POST /api/students	Lisa uus õpilane süsteemi	admin, teacher
	GET /api/students/{encryptedId}/stats	Tagasta antud id-ga õpilase statistika	admin, teacher, parent
	GET /api/students/my-students	Tagasta õpetaja enda õpilased	teacher
	GET /api/students/my-child	Tagasta lapsevanema enda lapsed	parent
PersonalBookController	GET /api/personal-book/{encryptedStudentId}	Tagasta antud id-ga õpilase lugemik	admin, teacher, parent
	POST /api/personal-book/add-chapter	Lisa lugemikku uus peatükk	admin, teacher
	PUT /api/personal-book/update	Uuenda lugemiku peatükki	admin, teacher
	DELETE /api/personal-book/delete-chapter	Kustuta peatükk lugemikust	admin, teacher
	POST /api/personal-book/copy-entire-chapter	Kopeeri ühe õpilase lugemiku peatükk teisele õpilasele	admin, teacher
	POST /api/personal-book/copy-entire-personal-book	Kopeeri kogu lugemik ühest õpilasest teisele	admin, teacher
ExerciseController	POST /api/ex/upload	Lisa uus harjutus süsteemi	teacher
	GET /api/ex/public	Tagasta kõik avalikud harjutused	admin, teacher
	GET /api/ex/teacher	Tagasta sisselogitud õpetaja harjutused	admin, teacher
	PUT /api/ex/{exerciseId}/toggle-public	Muuda antud id-ga harjutus avalikuks	admin, teacher
	GET /api/ex/rating	Tagasta harjutuse keerukuse hinnang	admin, teacher
	GET /api/ex/statistics/teacher	Tagasta õpetaja harjutuste statistika	teacher
	GET /api/ex/neurokone?speaker=&exerciseId=	Tagasta harjutuse neurokone versioon	teacher, parent
TeacherRequestController	POST /api/teacher-requests/{requestId}/reject	Tühista lapsevanema ligipääsu taotlus	teacher
	POST /api/teacher-requests/{requestId}/approve	Kinnita lapsevanema ligipääsu taotlus	teacher
	GET /api/teacher-requests	Tagasta õpetajale kõik ligipääsutaotlused	teacher
ParentRequestController	POST /api/parent-requests	Esita taotlus lapse profiilile ligipääsuks	parent
ExerciseResultController	POST /api/exResult/upload	Lae üles sooritatud harjutuse tulemused	teacher, parent
AuthController	POST /api/auth/login	Logi kasutaja sisse	avalik

	POST /api/auth/forgot-password	Algata parooli lähtestamine	avalik
	POST /api/auth/reset-password	Lähtesta parool	avalik
Flask: AudioEvaluation	GET /audio-evaluation	Analüüsi helifaili ja hinda lugemissujuvust	–
Flask: Syllabifier	GET /syllabifier	Silbita tekst ja tagasta silpide ning sõnade arv	–
Flask: TextEvaluation	GET /text-evaluation/{sentence}	Tagasta sisendi (lause) hinnang	–