



VILNIAUS UNIVERSITETAS
FILOLOGIJOS FAKULTETAS

Ignas Rudaitis

Kalbotyros MA studijų programa (Bendrosios kalbotyros šaka)

REKOMBINAVIMO EFEKTAS FONOTAKTIKOJE

Magistro darbas

Darbo vadovė dr. Anna Daugavet

Vilnius, 2023

Turinys

Įvadas.....	5
1. Darbo indėlio apžvalga.....	7
1.1. Fonotaktika	7
1.2. Tyrimo krypties kontekstas.....	8
1.3. Rekombinavimas pagal XY, YZ, XZ → XYZ šabloną.....	10
1.4. Terminija.....	10
1.5. Implikacinė efekto prigimtis	10
1.6. Iššūkiai XYZ efekto hipotezei	11
1.7. XYZ efekto hipotezės ribotumo aspektai	12
1.8. XYZ efektas kaip bendro pobūdžio fonologijos modelis	13
1.9. Kalbų imties parinkimas	14
2. Harmonijos keliami iššūkiai.....	15
2.1. Harmonijos apibrėžtis ir tipai	15
2.2. Harmonija – procesas ar struktūros suvaržymas?.....	17
2.3. Ar harmonijos sąvoka būtina?	18
2.4. Harmonijos blokavimas	19
2.5. Navahų kalbos priebalsių žvarbumo harmonija.....	20
2.6. Fakultatyvių harmonijų traktavimas	22
2.7. Slovėnų kalbos priebalsių žvarbumo harmonija.....	23
2.8. Jaka kalbos priebalsių nosinumo harmonija	26
2.9. Njangbo kalbos balsių įtemptumo harmonija	27
3. Kitų reiškinių keliami iššūkiai.....	30
3.1. Bigramų suvaržymai	30
3.2. Trigramų suvaržymai	31
3.3. N-gramų suvaržymai, kai $N > 3$	32
3.4. Žodžio pradžios ir pabaigos suvaržymai	32
3.5. Kiekybiniai suvaržymai	32
3.6. Žodžiai ir kiti domenai.....	34
3.7. Supersegmentiniai reiškiniai.....	34
3.8. Keli fonotaktiniai suvaržymai vienu metu.....	35
4. Fonotaktikos išmokimo algoritmas	38
4.1. Bendri faktai apie mašininį mokymąsi	38
4.2. Svarbiausi mašininio mokymosi taksonomijos aspektai.....	38
4.3. Paskatos mašininiam fonotaktikos mokymuisi.....	39
4.4. Fonotaktikos mašininio mokymosi istorija.....	40
4.5. Siūlomas fonotaktikos išmokimo algoritmas.....	41
4.6. Algoritmo testavimas	43
Išvados.....	45
Santrauka	46
Summary.....	47
Literatūra	48

Ignas Rudaitis, *Rekombinavimo efektas fonotaktikoje*. Magistro darbas, vadovė asist. dr. Anna Daugavet, Vilniaus universitetas, Filologijos fakultetas, 2023, 51 p.

Raktažodžiai: fonotaktika, fonologija, rekombinavimas, kompiuterinė fonologija, formaliųjų kalbų teorija, mašininis mokymasis.

Anotacija

Šiame darbe siūloma nauja fonologinė universalija – XYZ efektas. Šis efektas susijęs pirmiausia su fonotaktiniu (pseudo)žodžių priimtinumu. XYZ efektas konkrečioje kalboje (kalbinėje atmainoje) laikomas galiojančiu, jei parinkę bet kokius tris žodžius su pavidalu XY, YZ, XZ (pvz. *nepyk, pykšt* ir *nešt* lietuvių kalboje) gauname, kad (pseudo)žodis XYZ (šiuo atveju *nepykšt*) būtinai bus fonotaktiškai priimtinas, t. y. vien pagal savo skambesį galės funkcionuoti kaip žodis toje kalboje. Vietoje žodžių XY, YZ, XZ galima parinkti ir fonotaktiškai priimtinus pseudožodžius. XYZ efektas darbe tikrinamas su įprastais lokalsios fonotaktikos reiškiniais bei su harmonijos sistemomis iš navahų, slovėnų, jaka ir njangbo kalbų. Prieiga prie šių reiškinų šio darbo sumetimais vyksta per gramatikose ir straipsniuose pateikiamus aprašus. Tikrinimo baigtis yra iš esmės palanki – XYZ efektą preliminariai galima laikyti universaliu. Sutvirtinti šiai išvadai pravartu būtų tikrinti efektą ir su kitais duomenų rinkiniais, su kuriais įprastai tikrinami fonotaktikos modeliai.

Santrumpos ir simboliai

1	pirmas asmuo
3	trečias asmuo
A	harmonijoje dalyvaujanti fonema, neleidžiama harmonijos domene kartu su B
B	harmonijoje dalyvaujanti fonema, neleidžiama harmonijos domene kartu su A
C	priebalsis
CL	klasė
DIM	deminutyvas
FUT	būsimasis laikas
INESS	inesyvas
ITV	ityvas
\mathcal{L}	konkreti, bet nepatikslinta kalba (kalbinė atmaina)
NEG	neiginys
O	harmoniją blokuojanti (domenus atskirianti) fonema
PFV	perfektyvas
PL	daugiskaita
plg.	palyginti
SG	vienaskaita
T	harmonijoje nedalyvaujanti fonema
V	balsis
◦	fonotaktiškai priimtinas dirbtinis žodis
*	fonotaktiškai nepriimtinas dirbtinis žodis
[]	fonetinė transkripcija
//	fonologinė transkripcija
	morfonologinė transkripcija
{ }	aibė
, ‘	reikšmė
E...E	vienas arba daugiau elementų E (= E, EE, EEE, EEEE ir t. t.)
(E...E)	nulis arba daugiau elementų E
D...E	D, tada bet kokie kiti elementai <i>išskyrus</i> E, tada galiausiai E
\wedge	ir (loginis jungtukas)
\Rightarrow	loginė implikacija
\neg	loginis neigimas

Įvadas

Tyrimo objektas. Plačiai žvelgiant, šis darbas yra apie fonotaktiką – dirbtinių žodžių skirtingą priimtinumą garsiniu pagrindu. Lietuvių kalboje fonotaktinio priimtumo skirtumas jaučiamas, pavyzdžiui, poroje *°spraikšla* (fonotaktiškai priimtinas) ir **psraikšla* (nepriimtinas). Fonotaktiką dar galima glaustai pavadinti kalbos garsų tarpusavio derme. Fonotaktinis priimtumas nėra tapatus dirbtinių žodžių panašumui į realius žodžius, nors ir yra su tuo susijęs.

Šio darbo objektas – siauresne prasme – yra XYZ efekto hipotezė. Tai – šio darbo autoriaus keliamas teiginys, jog egzistuoja universalus būdas „karpyti ir lipdyti“ (rekombinuoti) fonotaktiškai priimtinas garsų sekas taip, kad šiuo procesu gautos naujos sekos visada būtų taip pat priimtinos. Šis rekombinavimo šablonas turi pavidalą $XY, YZ, XZ \rightarrow XYZ$. Čia raidėmis X, Y, Z žymimos bet kokios kalbos garsų atkarpos, nebūtinai atliepiančios skiemenis ar morfemas. Pavyzdys iš lietuvių kalbos galėtų būti *nepyk, pykšt, nešt* → *°nepykšt*.

Su XYZ efekto hipoteze pretenduojama ir į universalumą tarp kalbų, ir į pritaikomumą visiems fonotaktikos reiškiniams pasirinktos kalbos viduje.

Tikslas ir uždaviniai. Darbu siekiama pasiūlyti XYZ efektą kaip naują fonologinę universaliją, turinčią simbolinį, „algebriską“ pavidalą. Siekiant šio tikslo, šio efekto universalumą privalu nuodugniai pagrįsti ir patikrinti. Turint tai omenyje, darbo uždaviniai yra šie: (1) parinkti kalbų imtį, su kurių fonotaktikos reiškiniiais bus tikrinama XYZ efekto hipotezė; (2) pagrįsti, kad tokia imtis yra reprezentatyvi; (3) remiantis gramatikomis ir kitais aprašais, pristatyti kiekvienos imtyje sutinkamos kalbos fonotaktikos reiškinius; (4) patikrinti, ar XYZ efektas galioja su šiais reiškiniiais; (5) sukonstruojant ir ištestuojant XYZ efektu paremtą fonotaktikos mokymosi algoritmą, parodyti, kad XYZ efektas teoriškai galėtų veikti kaip atramos taškas įsisavinant įvairius fonotaktikos dėsningumus.

Tiriamoji medžiaga. Iš empirinės medžiagos, tyrime bus nagrinėjama (1) navahų kalbos neprivalomoji priebalsių harmonija pagal žvarbumo¹ požymį, (2) slovėnų kalbos neprivalomoji priebalsių harmonija pagal žvarbumo požymį, (3) jaka kalbos priebalsių harmonija pagal nosinumo požymį ir (4) njangbo kalbos balsių harmonija pagal įtemptumo požymį. Šio darbo sumetimais, vienintelė prieiga prie šių fonologijos reiškinių vyksta per jų aprašus gramatikose ir straipsniuose.

Struktūra. Šis darbas turi keturias numeruojamas dalis. 1 dalis yra įvadas į XYZ efekto formuluotę, kontekstą ir probleminius aspektus. 2 ir 3 dalys visiškai paskirtos efekto verifikavimui – 2 dalis konfrontuoja efekto formuluotę su duomenimis apie balsių ir priebalsių harmonijos sistemas, o 3 dalis – su kitais fonotaktikos reiškiniiais. Dėl pačių reiškinių prigimties, 3 dalis yra trumpesnė ir

¹ Žvarbumu (pagal Aleksą Girdenį) vadinamas frikativų požymis, būdingas š, ž tipo frikativams, bet nebūdingas s, z tipo frikativams, ir iš esmės skiriantis šiuos du tipus.

schemiškesnė. Galiausiai, 4 dalyje iš XYZ efekto išvedamas fonotaktikos mokymosi algoritmas. Jis patikrinamas su keliais dirbtiniais duomenų rinkiniais, sumodeliuotais pagal nagrinėtas harmonijos sistemas.

Nuo įprasto darbo struktūravimo į teorinę ir tiriamąją dalį šiame darbe nukrypstama. Vietoje to, kiekviena iš 2, 3 ir 4 dalių atskirai prasideda teoriniais skyriais ir tęsiasi tiriamaisiais.

Metodas. XYZ efektas darbe tiriamas argumentuojant dedukciškai bei tikrinant jį su literatūroje paliudyta empirine medžiaga. Pastarajai medžiagai pasirinkti pritaikytas racionalus, tipologiškai informuotas imties atrankos metodas, aprašytas 1.9 skyriuje. Iš esmės tyrimas yra kokybinis; visos jo dalys skirtos atsakyti klausimui „taip ar ne“ – ar XYZ efektas išties yra universalus.

Naujumas. XYZ efektas šiame darbe pasiūlytas naujai; apskritai, fonologijoje rekombinavimo taisyklių (žr. *Tyrimo objektas*), autoriaus žiniomis, nebūta. Artima paralelė joms yra Zelligo Harriso ir, vėliau, Noamo Chomsky'o transformacijos, taikytos sintaksėje (Harris, 2013; Chomsky, 1956). Svarbu, kad po Dakotah Lamberto ir Jameso Rogerso darbo apie TSL (angl. *tier-based strictly local*; Lambert ir Rogers, 2020) aibių formalizmą, XYZ efektas tapo lengvai pademonstruojamas būtent šiam formalizmui ir, tuo pačiu, fonotaktikos reiškiniams, kuriuos juo galima modeliuoti – jų esama gana daug ir įvairių. Vis dėlto, tokios demonstracijos iki šiol literatūroje nebūta (išskyrus eskizą šio autoriaus bakalauro darbe; Rudaitis, 2021); be to, šiuo darbu XYZ efektas patikrinamas su įvairesniais reiškiniiais, nei įmanoma modeliuoti minėtuju formalizmu.

Aktualumas. Autorius tiki, kad kaip ir bet kokios fonologinės universalijos pademonstravimas, šis darbas duos postūmį samprotavimui apie tai, kokie mechanizmai žmogaus sąmonėje įgalina kalbos įsisavinimą. Galima manyti, kad būtent fonotaktikos išmokimas yra labai tinkamas išeities taškas modeliuojant kalbos įsisavinimą apskritai – žmonės savo gimtosios kalbos fonotaktiką įsisavina itin anksti (Chambers et al., 2003), be to, fonotaktikos įsisavinimo įvestis – kalbos garsų srautas – yra gana vienareikšmiškai apčiuopiama; ji kur kas mažiau priklauso nuo teorinės interpretacijos nei, tarkime, morfologijos ar sintaksės įsisavinimo įvestis.

Taip pat šiame darbe teikiama fonotaktikos koncepcija gali būti įdomi kaip tiesiogiai neparemta nei (a) taisyklėmis, projektuojančiomis gilumines formas į paviršines, kaip kad *The Sound Pattern of English* formalizme (Chomsky, 1968), nei (b) struktūros suvaržymais, kaip, pavyzdžiui, optimalumo teorijoje (Prince ir Smolensky, 1991). Iš tiesų, čia teikiama fonotaktikos koncepcija neoperuoja jokiais kitomis reprezentacijomis, kaip tik fonotaktiškai priimtini (pseudo)žodžiai.

Galiausiai, XYZ efektas gali turėti praktinės vertės kaip metodas kurti dirbtiniams žodžiams, kurie, savo ruožtu, reikalingi lingvistiniuose eksperimentuose.

Šio darbo tema autorius 2022 metais skaitė pranešimus *Societas Linguistica Europaea* ir *Old World Conference on Phonology* konferencijose.

1. Darbo indėlio apžvalga

1.1. Fonotaktika

Norint pristatyti šio darbo temą, reikalinga *fonotaktikos* sąvoka. Tam tikros kalbos \mathcal{L} fonotaktika yra skirtis tarp garsų sekų, kurių vienos yra priimtinos, o kitos – nepriimtinos. Šie priimtimumo vertinimai daugiausia išgaunami anketomis ir eksperimentais. Be to, tam, kad būtų priskirtas fonotaktikos sričiai, šis (ne)priimtimumas turi būti paaiškinamas būtent garsiniu pagrindu – pavyzdžiui, gretimų ar nutolusių fonemų (ar alofonų) sąveika.

Akivaizdu, kad visi realūs žodžiai², egzistuojantys kalboje \mathcal{L} , joje bus ir fonotaktiškai priimtini. Todėl fonotaktikos klausimai dažniausiai yra apie dirbtinius – potencialius – žodžius.

1 pavyzdys. Tokio žodžio, kaip *°spraakšla*, lietuvių kalboje nėra, tačiau pagal skambesį galėtų būti (Girdenis, 2003: 48) – tai yra fonotaktiškai priimtina garsų seka. Kita vertus, užrašas **pspraakšla*, gautas sukeitus pirmas dvi raides, neatliepia jokios fonotaktiškai priimtinos garsų sekos. Šis neigiamas garsų sukeitimo efektas aiškinamas skiemens struktūros suvaržymais, galiojančiais lietuvių kalboje.

2 pavyzdys. *Tešla* yra egzistuojantis lietuvių kalbos žodis. Pakeitę pirmąjį priebalsį gausime, pavyzdžiui, *°bešla*. Šis dirbtinis žodis beveik neabejotinai bus fonotaktiškai priimtinas. Priebalsiai *š* ir *l* jame yra abu kietieji: /ʃl/, siauresne transkripcija – [ʃl̥]. Jei tik vieną jų pakeisime minkštuoju, o kitą paliksime kietąjį – **be/ʃl̥/a* arba **be/ʃl̥i/a* – gausime fonotaktiškai nepriimtina garsų seką. Tai aiškinama priebalsių minkštumo asimiliacija – du gretimi priebalsiai privalo būti arba abu kietieji, arba abu minkštieji (Girdenis, 2003: 150–151, 241–246).

3 pavyzdys. Latvių kalboje egzistuoja keturi *e* tipo balsiai: du trumpieji /æ, e/ ir du ilgieji /æː, eː/. Standartinėje rašyboje skiriamas tik ilgumas – yra tik du rašmenys *e* ir *ē*. Imkime latvių kalbos žodį *sēdētu* ‚sėdėtū‘. Jį transkribuotume /sæːdæːtu/. Šalia jo gali egzistuoti fonotaktiškai priimtina seka *°seːdeːtu/*, kuri turi abu kitokius *e* tipo balsius, /eː/ vietoje /æː/. Modifikacija, kuri jau nebebūtų fonotaktiškai priimtina, būtų **/sæːdeːtu/*. Latvių kalboje vadinamųjų siaurųjų /e, eː/ ir plačiųjų /æ, æː/ distribuciją, be kitų veiksnių, valdo vienkryptės balsių harmonijos (umliauto) dėsnis (Endzelīns, 1951: 94; Sokols, red., 1959: 23; Auziņa et al., 2013: 82–83; Chaberek, 1993). Jei mintyse iš žodžio pašalintume visus priebalsius, jame negalėtų šalimais susidurti platusis ir siaurasis *e* formos balsiai – būtent tokia tvarka – nebent juos skirtų sudurtinio žodžio dėmenų riba.

4 pavyzdys. Pagal Alekso Girdenio 1962 m. aprašą, Tirkšlių tarmėje – viename iš žemaičių dialektų – egzistuoja (arba bent tuo metu egzistavo) savita, į 3 pavyzdžio (latvių kalbos) atvejį panaši distribucija tarp dalies šio dialekto balsių, konkrečiai – tarp /ɪ, ʊ, ɛ, o/ (Girdenis, 1962). Imkime du

² Kadangi šiame darbe traktuojama tik fonologija, jame nėra pagrindo vengti termino *žodis*, kurį šiaip jau lingvistinėje literatūroje dažnai renkamasi išdviprasminti į *leksemą* ir *žodžio formą*.

žodžius /gʲɛlʲos/ ‚gilus‘ ir /gʲilʲos/ ‚gilius‘ – dvi skirtingas tos pačios leksemos formas (nom. sg. ir acc. pl.). Tokia forma, kaip */gʲilʲos/, dirbtinai gauta perkeliant antrosios formos pirmąjį skiemenį į pirmąją formą, būtų fonotaktiškai nepriimtina. Apskritai, paskutiniame skiemenyje gali būti bet kuris iš keturių minėtųjų balsių /ɪ, ʊ, ɛ, ɔ/, bet jei paskutiniame skiemenyje yra /ɛ, ɔ/, ankstesniame skiemenyje negali būti /ɪ, ʊ/. Atlikę atvirkščią skiemenų sukeitimą ir gavę */gʲɛlʲos/, taip pat turėtume fonotaktiškai nepriimtina garsų seką. Tirkšlių tarmės balsių harmonijos (asimiliacijos) sistemai priklauso ir daugiau dėsningumų, susijusių su kitais dialekte egzistuojančiais balsiais.

1.2. Tyrimo krypties kontekstas

Svarbu, kad panašiais būdais, kaip šiame darbe, fonotaktika buvo apibrėžiama visada, tačiau faktiškai į jos traktuotes ilgą laiką būtų buvę įprasta įtraukti tik 1 pavyzdį ir jo analogus. Lietuvių ir kitų kalbų fonologijos aprašuose 2, 3 ir 4 pavyzdžiai būtų buvę nagrinėjami su fonotaktika nesusijusiuose skyriuose. Šis požiūris, rodos, ėmė keistis su komputacinės fonologijos ištakomis (plg. Hayes ir Wilson, 2008; Heinz, 2010). Šiame darbe laikoma, kad fonotaktikai lygiomis teisėmis priklauso visi keturi atvejai.

Iš tiesų, priešingai nei anksčiau, šiandien kalbėti apie fonotaktiką dažnai reiškia kalbėti būtent apie harmonijos reiškinius (kaip kad balsių asimiliaciją), nes iš visų reiškinių, klasifikuojamų kaip fonotaktika, jie daugiausia byloja apie fonologinių reiškinių kompleksiskumo ribas.

Nepaisant to, kad šiame darbe plačiai siekiama pateikti rezultatą su komputacine fonologija nesusijusiems (-oms) skaitytojams (-oms), autoriaus darbą prieinant prie šio rezultato stipriai palengvino būtent šios srities mąstysena ir metodai. Ko gero, visai komputacinei fonologijai bendras yra siekis demarkuoti įmanomus fonotaktikos dėsningumus nuo neįmanomų. Šioje srityje ypač patogiu ir dažna yra traktuoti šiuos dėsningumus kaip (bėgalines) aibes iš (tikrų ir dirbtinių³) žodžių. Pavyzdžiui, menamoje kalboje, kurios fonemų inventorių yra /i, u, m/, galime įsivaizduoti (C)V skiemens struktūros dėsningumą; t. y. suvaržymą, kad visi skiemenys privalo būti atviri ir prasidėti daugiausia vienu priebalsiu. Tokią dėsningumo formuluotę atitinka bėgalinė „žodžių“ aibė {i, u, ii, iu, ui, uu, mi, mu, iii, iiu, iui, iuu, imi, imu, uii, uiu, uui, uuu, umi, umu, mii, miu, mui, muu, iii, ...}. Ji sudaroma taip, kad į ją patektų tik tos fonemų sekos, kurios dėsningumo paiso – o jokių kitų, kaip kad /mim/ ar /ummu/, joje nebūtų. Tokios aibės vadinamos *formaliosiomis kalbomis*; sakoma, kad tokia prieiga prie fonologijos yra paremta *formaliųjų kalbų teorija*. Bėgalinė formalioji kalba pati savaime negali būti fonotaktikos aprašas, kadangi jos išvardyti neįmanoma. Norint tokią formaliają kalbą tiksliai nusakyti baigtiniu būdu, būtina ją charakterizuoti pasirinktu būdu, kaip kad taisyklėmis arba struktūros suvaržymais (angl. *constraints*).

³ Skirtis tarp jų šiuo atveju neaktuali; jie talpinami į tą pačią aibę.

Jei demarkacija tarp įmanomų ir neįmanomų fonotaktikos dėsningumų palieka tik baigtinį – kad ir labai didelį – skaičių tų dėsningumų, kurie būtų *įmanomi*, šios demarkacijos dėka tampa galima atspėti konkretų fonotaktikos dėsningumą vien iš teigiamų stimulų (fonotaktiškai priimtinių žodžių). Blogiausiu atveju galima spėlioti, bet dažnai domimasi taip struktūruotomis dėsningumų klasėmis, kurioms egzistuoja greitesni būdai identifikuoti teigiamus stimulus atitinkantį dėsningumą, nei vien spėliojimas (visų variantų išmėginimas). Konkretus fonotaktikos dėsningumų (formaliųjų kalbų) identifikavimo metodas gali tarnauti kaip modelis žmogaus taikomoms fonotaktikos įsisavinimo procedūroms. Žinoma, tokio modelio sėkmingumas jokių būdu nerodys, kad žmogus taiko panašias procedūras, tačiau gali parodyti, kad modelyje įkūnytose prielaidose nėra logiškai prieštaringos. Tai – labai svarbus pirmasis žingsnis ieškant fonotaktikos įsisavinimo teorijos, kuri jau būtų ir psicholingvistiškai realistiška.

C. Douglasas Johnsonas (Johnson, 1972) bei Ronaldas M. Kaplanas ir Martinas Kay'us (Kaplan ir Kay, 1994) iškėlė hipotezę, kad įmanomų fonologijos (įskaitant fonotaktiką) dėsningumų klasė yra vadinamųjų *reguliariųjų* formaliųjų kalbų poklasis. Tai galima laikyti formaliųjų kalbų teorija paremtos fonologijos pradžia. Jų rezultatas yra svarbus galimų fonologijos sistemų demarkacijai; vis dėlto, reguliariųjų formaliųjų kalbų klasė vis dar nėra baigtinė, tad vien šis rezultatas tiesiogiai negalėjo pastūmėti į priekį svarstymų apie būtinausias ir pakankamausias sąlygas fonotaktikos įsisavinimui.

Vėliau Jeffrey'o Heinzo darbai davė pradžią *subreguliariajai* tyrimų programai, kuria siekiama išskirti būtent tokius reguliariųjų formaliųjų kalbų klasės poklasius, kurie ir būtų baigtiniai, ir talpintų savyje žinomiausius fonotaktikos dėsningumus. Įvairios subreguliarios formaliųjų kalbų klasės pirmiausia domino Robertą McNaughtoną ir Seymourą Papertą, tačiau ne iš lingvistikos, o iš teorinės informatikos perspektyvos (McNaughton ir Papert, 1971). J. Heinzas pasiūlė patikrinti šių klasių aktualumą fonotaktikai (Heinz, 2010); vėliau jis su Chetanu Rawaliu ir Herbertu G. Tanneriu pasiūlė naują subreguliarią klasę, TSL (angl. *tier-based strictly local*; Heinz et al., 2011), įkvėptą Johno Goldsmitho autosegmentinių sluoksnių (Goldsmith, 1976). Subreguliarioji tyrimų programa netrukus susilaukė pasekėjų; TSL klasei buvo pasiūlyta identifikavimo (= išmokimo) algoritmų (Jardine ir Heinz, 2016; Jardine ir McMullin, 2017; McMullin et al., 2019); buvo domimasi TSL klasės aktualumu morfotaktikoje (Aksėnova et al., 2016), sintaksėje (Vu et al., 2019), semantikoje (Graf, 2019).

Net ir apsiribojant fonologija, ne vien fonotaktika gali būti modeliuojama formaliosios kalbomis. Tai įmanoma ir su fonologiniais procesais, t. y. sinchroninėmis garsų kaitomis ir diachroniniais garsų kitimais. Šią kryptį ilgą laiką nagrinėja Jane Chandlee (pvz. Chandlee ir Koirala, 2014), Philipas A. Burnessas (Burness et al., 2021) ir kai kurie kiti tyrėjai.

1.3. Rekombinavimas pagal XY, YZ, XZ → XYZ šabloną

1 pastebėjimas. Lietuvių kalboje garsų sekos *nepyk*, *pykšt* ir *nešt* /nⁱɛpi:k/, pⁱi:kšt/, nⁱɛft/ yra fonotaktiškai priimtinos – taip sprendžiame iš to, kad šios sekos yra egzistuojantys žodžiai.

2 pastebėjimas. Minėtasis garsų sekų trejetas /nⁱɛpi:k/, pⁱi:kšt/, nⁱɛft/ atitinka šabloną XY, XZ, YZ. Čia X, Y, Z = /nⁱɛ/, /pⁱi:k/, /ft/, atitinkamai.

3 pastebėjimas. °*Nepykšt* /nⁱɛpⁱi:kšt/, nors ir neegzistuojantis⁴ žodis lietuvių kalboje, yra fonotaktiškai priimtina garsų seka.

Galimas daiktas, kad šių trijų faktų sutapimas nėra vien atsitiktinis. Pagal pagrindinį šio darbo indėlį – XYZ efekto hipotezę, formuluojamą kaip kalbinę universaliją – 3 pastebėjimas išplaukia iš 1 ir 2 pastebėjimų:

XYZ efekto hipotezė. Imkime bet kokias netuščias garsų sekas X, Y ir Z. Jei kurioje nors kalboje (kalbinėje atmainoje) \mathcal{L} visos trys garsų sekos XY, YZ ir XZ yra fonotaktiškai priimtinos, tada būtinai kalboje \mathcal{L} fonotaktiškai priimtina yra ir seka XYZ.

1.4. Terminija

Rekombinavimu čia vadinamas naujų garsų sekų sudarymas karpant ir lipdant esamas garsų sekas. Galima įsivaizduoti įvairius būdus rekombinuoti garsų sekas, tačiau šiame darbe bus kalbama daugiausia apie rekombinavimą pagal (XY, YZ, XZ →) XYZ šabloną.

Rekombinavimo efektu čia vadiname tai, kad rekombinavimo **produktas** – XYZ – „paveldi“ fonotaktinį priimtinumą iš rekombinavimo **įvesčių** – XY, YZ ir XZ.

Rekombinavimo efektas taikant XYZ šabloną toliau vadinamas **XYZ efektu**.

1.5. Implikacinė efekto prigimtis

XYZ efekto hipotezė formuluojama kaip loginė implikacija, išdėstyta 1 paveiksle.

Jei (prielaida):

XY yra fonotaktiškai priimtina garsų seka, **ir**

YZ yra fonotaktiškai priimtina garsų seka, **ir**

XZ yra fonotaktiškai priimtina garsų seka,

tada tai pat (išvada):

XYZ yra fonotaktiškai priimtina garsų seka.

1 pav. XYZ efekto hipotezė kaip loginė implikacija

⁴ Arba traktuotinas kaip okazinis būdas paneigti ištiktuką *pykšt*.

Jei fonotaktinio priimtumo predikatą pažymėtume $P(x)$, predikatų logikoje XYZ efekto hipotezė atrodytų taip: $P(XY) \wedge P(YZ) \wedge P(XZ) \Rightarrow P(XYZ)$.

Svarbu tai, kad kaip ir visų loginių implikacijų atveju, XYZ efekto hipotezė nenumato jokios išvados, jei prielaida negalioja. Kitaip tariant, atvirkštinis XYZ efektas neegzistuoja: jei XY, YZ ir XZ visos yra fonotaktiškai *nepriimtinos* garsų sekos, apie XYZ nėra pasakytina nieko – įmanoma ir tai, kad šis rekombinavimo produktas bus priimtinas, ir tai, kad nepriimtinas. Analogiškai, ši implikacija nenumato jokios konkrečios pasekmės ir tada, jei tik *dalis* rekombinavimo įvesčių {XY, YZ, XZ} yra fonotaktiškai priimtinos.

Be to, kaip ir bendruoju atveju, negalima implikacijos apsukti (iš „ \Rightarrow “ į „ \Leftarrow “): jei žinome tik tiek, kad XYZ yra fonologiškai priimtina garsų seka, suskaidžius ją į norimus fragmentus X, Y ir Z neišeis nieko teigti apie XY, YZ ar XZ. Šios smulkesnės sekos gali būti tiek priimtinos, tiek ir nepriimtinos.

Kita vertus, kadangi iš $Q \Rightarrow R$ būtinai išplaukia $\neg R \Rightarrow \neg Q$ (kontrapozicijos dėsnis; „ \neg “ reiškia loginį neigimą), teisinga yra ir formuluotė, parodyta 2 paveiksle.

Je (*prielaida*):

XYZ **nėra** fonotaktiškai priimtina garsų seka,

tada tai pat (*išvada*):

XY **nėra** fonotaktiškai priimtina garsų seka, **arba (ir)**

YZ **nėra** fonotaktiškai priimtina garsų seka, **arba (ir)**

XZ **nėra** fonotaktiškai priimtina garsų seka.

2 pav. XYZ efekto hipotezės kontrapozicija

1.6. Iššūkiai XYZ efekto hipotezei

Atgaminkime fonotaktikos rubrikas, kurioms priklausė keturi 1.1 skyriaus pavyzdžiai:

- a) skiemens struktūros suvaržymai (1 pavyzdys),
- b) gretimų garsų dermės dėsniai (2 pavyzdys),
- c) nutolusių garsų dermės dėsniai (harmonija; 3 ir 4 pavyzdžiai).

Kaip minėta, būtent pastaroji rubrika – harmonija – literatūroje apie fonotaktiką per pastaruosius du dešimtmečius yra aptariama bene daugiausia. Rodos, šio laikotarpio pradžioje vyravo lūkestis, tuomet dar nepaneigtas empiriniais duomenimis, kad visą harmonijos tipologiją bus galima redukuoti iki kelių paprastų principų. Tačiau aprašius ir naujai išnagrinėjus daugybę harmonijos sistemų, vaizdas persimainė.

Harmonijai bus skirta ir diduma šio darbo. Kad XYZ efektas galioja skiemens struktūros suvaržymų posistemiams⁵ ir lokalsios asimiliacijos (arba disimiliacijos) posistemiams ((a) ir (b) rubrikos), veikiantiems įvairių kalbų fonologijoje, galima parodyti schemiškai, vienu ypu, nesileidžiant į konkrečių kalbų specifiką. Taip yra dėl paprastų formalijų savybių, būdingų tokiems posistemiams. Įvairūs harmonijos posistemiai, kita vertus, turi kur kas labiau komplikuotą formalųjį paveikslą. Vietomis čia bus remiamasi ir juo, tačiau tikslingiau atrodo apžvelgti dalį harmonijos tipologijos pačiame darbe, tikrinant XYZ efekto validumą kiekvienu ryškesniu atveju atskirai.

Trumpai tariant, didžiausias iššūkis norint pagrįsti XYZ efekto teisingumą yra harmonijos sistemos; dėl šios priežasties joms šiame darbe bus skirta daugiausia dėmesio.

1.7. XYZ efekto hipotezės ribotumo aspektai

Šio darbo rašymo metu egzistuoja pagrindas manyti, kad XYZ efektas yra kalbinė universalija, ar bent yra artimas tokiai – žr. 2.8 skyrių dėl galimos išimties. Vis dėlto, taip optimistiškai galima teigti tik demarkavus šio efekto taikymo sritį. Tuo tikslu aptarsime keturis efekto ribotumo aspektus.

Produktyvumas. Parinkus tekstyną net ir iš kelių tūkstančių žodžių (formų), veikiausiai atsiras vos keli šių žodžių trejetai, kurių pavidalas bus {XY, YZ, XZ}. Tai reiškia, kad XYZ efektas nėra praktiškas būdas generuoti naujoms fonotaktiškai priimtinas garsų sekoms. Tiesą sakant, 3.5 skyriuje parodome, kad jei XYZ efektą taikome transkripcijoms, kuriose pažymėtas kirtis, XYZ efekto pagalba gali visai nepavykti sukurti rekombinavimo produktų. Tokiu atveju sakysime, kad galioja tik „nebylusis“ XYZ efektas: implikacija, per kurią 1.5 skyriuje suformuluotas šis efektas, galioja vien dėl to, kad šios implikacijos prielaida niekada nėra tenkinama.

Skiemens struktūra. Daliai skiemens struktūros suvaržymų XYZ efektas neveikia, nes generuoja pertekliškus (nepriimtinius) rekombinavimo produktus (angl. *overgenerates*). Konkrečiai, tai tie skiemens struktūros suvaržymai, kurie numato aiškią sonoriškumo seką, bet žodžio pabaigoje ar pradžioje turi išimčių (plg. lietuvių *plieksk* ir panašias formas). Pavyzdžiui, rusų kalboje galima suformuoti trejetą /akr, rta, akta/ (,akras‘, ,burnōs‘, ,akto‘, atitinkamai), kuriam pritaikius XYZ efektą išeina */akrta/, pažeidžiantis rusų kalbos skiemens struktūros suvaržymus. Ši problema nekyla pritaikius XYZ efektui ribojimą $|Y| \geq 2$ („Y turi susidėti bent iš 2 fonemų“), nes tokiu būdu modifikuotas XYZ efektas tampa pajėgus generalizuoti trigramų suvaržymus (žr. 3.2 skyrių). Trigramų suvaržymai, savo ruožtu, yra pakankami formuluoti labai įvairioms skiemens struktūroms.

⁵ Tai pasakytina tik apie paprastus skiemens struktūros suvaržymų posistemius – žr. *Skiemens struktūra* 1.7 skyriuje.

Supersegmentiniai elementai. Norint pritaikyti fonemų sekoms XYZ efektą, supersegmentiniai elementai – kirtis, tonas, intonacija – šių sekų transkripcijoje turi būti neatliepti. Plačiau tai aptariama 3.7 skyriuje.

Domenai. Kartais fonotaktiniai suvaržymai veikia trumpesnėse arba ilgesnėse atkarpose (domenuose), negu fonologinis žodis. Kai domenų ribos yra charakterizuotos tik morfologiškai (pvz., balsių harmonija veikia tik atskiruose sudurtinio žodžio dėmenyse), XYZ efektas joms yra indiferentiškas. Dėl šios priežasties būtina arba į transkripciją įtraukti tokias domenų ribas (kaip netariamą sandūros simbolį /+/, arba konstatuoti, kad XYZ efekto poveikio sritis nesutampa su fonologinio žodžio ribomis. Plačiau ši problema aptariama 3.6 skyriuje.

1.8. XYZ efektas kaip bendro pobūdžio fonologijos modelis

XYZ efektas gali tarnauti kaip kai kurių kalbų fonotaktikos aprašymo priemonė, nors vargu, ar toks jo pritaikymas gali būti praktiškas – juo labiau praktiškesnis už esamas priemones. Vis dėlto, tokia galimybė gali būti įdomi teoriškai, nes taip galima pasiekti baigtinį fonotaktikos aprašą nepasitelkiant nei tradicinių taisyklių, nei struktūros suvaržymų (žr. Įvado dalį *Aktualumas*). Norint XYZ efektą pasitelkti kalbos \mathcal{L} fonotaktikos aprašymui, reikėtų tiesiog pradėti išsamiai vardyti tikrus ir dirbtinius žodžius, kurie būtų fonotaktiškai priimtini kalboje \mathcal{L} – pradedant trumpiausiais ir tęsiant ilgesniais. Tam tikru momentu – galbūt ties žodžiais iš 5 fonemų – galima būtų sustoti, nes visus ilgesnius fonotaktiškai priimtinus (pseudo)žodžius išeitų gauti rekombinavimo būdu pagal XYZ efektą.

Toks fonotaktikos aprašas, susidedantis iš trumpų žodžių išvardijimo, būtų tas pats, kas šio darbo 4 dalyje vadinama *rekombinavimo baze*. 4 dalyje siūlomas algoritmas, galintis apytiksliai atspėti rekombinavimo bazes.

Tiesa, svarbu, kad ne visi fonotaktikos dėsniumai (tad ir ne visos kalbos) turi juos atitinkančias rekombinavimo bazes – kartais net ir tada, kai XYZ efektas su šiais dėsniumais galioja. To paties universalumo, į kurį pretenduojama su pačiu XYZ efektu, rekombinavimo bazių atveju nelieka.

Iš preliminarių bandymų galima spėti, kad rekombinavimo bazės tinka aprašyti ne vien daliai fonotaktikos, bet ir kai kuriems fonologiniams procesams – sinchroninėms garsų kaitoms ir diachroniniams garsų kitimams. Taip yra todėl, kad veikiausiai teisingas ir toks XYZ efektas: „jei galioja taisyklės $AB \rightarrow XY$, $BC \rightarrow YZ$ ir $AC \rightarrow XZ$, tai galioja ir taisyklė $ABC \rightarrow XYZ$ “. Vis dėlto, šiame darbe ši efekto atmaina plačiau nenagrinėjama ir paliekama tolimesniems tyrimams.

1.9. Kalbų imties parinkimas

Vardijant abėcėlės tvarka, tarp duomenų, kuriais tikrinamas XYZ efekto teisingumas, pasitaiko pavyzdžiai iš jaka, lietuvių, navahų, njangbo, rusų, slovėnų kalbų. Be abejonės, tai – maža imtis. Vis dėlto, ji parinkta neatsitiktinai ir, manytina, šiam darbui yra pakankama.

Vertinant šią imtį, turėtina omenyje, kad atsiribojimas nuo fonetinės substancijos (angl. *substance-free* prieiga; Fudge 1967: 26; Hale ir Reiss, 2000) smarkiai suniveliuoja skirtingus fonotaktikos reiškinius. Išties, XYZ efektas yra radikaliai nuo jos atribotas – jame diferenciniai požymiai neturi jokio vaidmens; segmentai /a: ~ æ:/, žvelgiant per šio efekto prizmę, yra maksimaliai skirtingi – tiek pat, kiek /a: ~ b/.

Kaip minėjome, segmentams primetant maksimaliai skirtingus pavidalus, fonotaktikos reiškiniai kaip tik visi tampa panašūs ir sukrinta vos į kelias kategorijas. Pavyzdžiui, bet kokia asimiliacija ar disimiliacija, veikianti gretimus segmentus, tėra tas pats suvaržymas *AB („šalia negali būti A ir B“). Vietoje A ir B galime parinkti ką tik panorėję – tai gali būti *pg (skardumo asimiliacija), *tt (degeminacija ar disimiliacija), *nb (vietos asimiliacija) – bet visa tai bus nerelevantiška dirbant su XYZ efektu.

Dėl šios priežasties imtis šiame darbe parinkta pagal darbo apimtį maksimizuojant *struktūrinę* įvairovę. Autoriui čia buvo ypač naudingas Alėnos Aksėnovos ir kolegų įdirbis (Aksėnova et al., 2020), kur pademonstruotas struktūrinis tapatumas tarp kur kas daugiau harmonijos sistemų, nei pasirinkta nagrinėti čia. Pastarajame darbe šios harmonijos sistemos modeliuojamos kaip $MTSL_2$ (angl. *multiple tier-based strictly 2-local*) aibės. Slovėnų kalba į šio darbo imtį atrinkta būtent kaip išsamiai reprezentuojanti $MTSL_2$ modelio galimybes, o navahų kalba parinkta kaip paprastesnis atvejis.

Vėlesniuose straipsniuose (Aksėnova ir De Santo, 2021; McCollum et al., 2020) iškelti jaka ir njangbo kalbų atvejai, kuriems $MTSL_2$ modelis pasirodė nebepakankamas, abu yra įtraukti į šio darbo imtį.

2. Harmonijos keliami iššūkiai

2.1. Harmonijos apibrėžtis ir tipai

Pagal Sharon Rose ir Rachel Walker (Rose ir Walker, 2011), harmonija yra asimiliacija, apimanti tris arba daugiau segmentų. Pasak šių tyrėjų, ši apibrėžtis apima du konkretesnius atvejus – (a) harmoniją per atstumą (angl. *distance harmony*) ir (b) nuosekliają harmoniją (angl. *continuous harmony*). Harmonijoje per atstumą gali egzistuoti segmentai, žodyje atsiduriantys tarp asimiliuojančiojo ir asimiliuojamojo segmento, kurie patys niekaip nėra veikiami asimiliacijos. Nuoseklojoje harmonijoje taip būti negali; asimiliacijos požymį būtinai įgyja visi segmentai nuo asimiliuojančiojo iki asimiliuojamojo.

Kad iliustruotume skirtumą tarp tipų (a) ir (b) ir jo svarbą, panagrinėkime suomių kalboje veikiančią balsių harmoniją pagal supriešakėjimo požymį (Skousen, 1973). Tai – klasikinis harmonijos pavyzdys tarp Europos kalbų. Įprastai jis laikomas harmonijos per atstumą (a) atveju.

Suomių kalbos balsiai sudaro tris svarbias grupes – /a, o, u/, /æ, ø, y/ ir /i, e/.⁶ Pirmoji grupė yra užpakalinės eilės balsiai, antroji – *supriešakėje*, trečioji – priešakiniai. Kad žodis būtų harmoniškas, jame *negali* kartu egzistuoti pirmosios ir antrosios grupės balsiai. Trečioji balsių grupė harmonijoje nedalyvauja; tas pat pasakytina apie visus priebalsius.

Žodžiai suomių kalboje paprastai yra harmoniški; disharmoniški kartais būna sudurtiniai žodžiai ir naujesnieji skoliniai. Harmoniškų ir disharmoniškų žodžių pavyzdžiai pateikiami 3 paveiksle.

Harmoniški skaitvardžiai ⁷ :			
/yksi/	,vienas‘	/yhdeksæn/	,devyni‘
/kaksi/	,du‘	/kahdeksan/	,aštuoni‘
Dirbtiniai žodžiai, gauti pakeičiant pirmuosius šių skaitvardžių balsius:			
°/uksi/	(harmoniškas ⁸)	*/uhdeksæn/	(disharmonišką)
°/kæksi/	(harmoniškas)	*/kæhdeksan/	(disharmonišką)

3 pav. Suomių kalbos balsių harmonijos pavyzdžiai

Įsivaizduokime, kas būtų, jei eksperimentų keliu paaiškėtų, kad harmoniški žodžiai, turintys pirmosios grupės balsius (užpakalinės eilės /a, o, u/) turi dar ir kitokius *priebalsių* alofonus, nei tie harmoniški žodžiai, kuriuose yra antrosios grupės balsiai (supriešakėje /æ, ø, y/). Tarkime, kad su

⁶ Prie šių grupių prijungtinios ir minėtųjų balsių ilgosios atmainos: atitinkamai /a:, o:, u:/, /æ:, ø:, y:/ ir /i:, e:/.

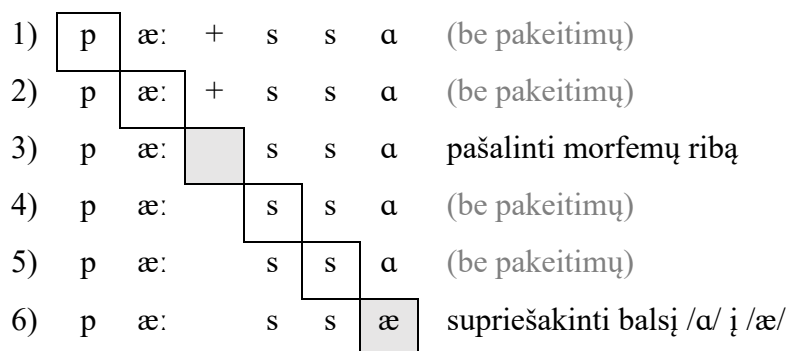
⁷ Pagal Wiktionary žodyną.

⁸ Apie harmoniškumą spręsta pagal Skouseno (op. cit.) analizę.

antrąją grupę pasitaikantys priebalsiai pasirodytų esą nežymiai minkštesni: [yh'diek'siæn], bet [kahdeksan]. Jei tai iš tiesų pavyktų parodyti, tai reikštų, kad suomių kalbos balsių harmonija pagal supriešakėjimą yra nuosekloji; kitaip sakant, (b) tipo. Vis dėlto, kad taip būtų būtent suomių kalbos atveju, duomenų nėra – skirtingai nei, pavyzdžiui, vengrų kalbos atveju (Benus ir Gafos, 2007).

Ypač raiškiai skirtumą tarp dviejų harmonijos tipų atskleidžia jų sąveika su morfologija. Suomių kalboje žodžiai /ma:/ ‚žemė‘ ir /pæ:/ ‚galva‘ abu prisijungia sufiksą -/ssa ~ ssæ/ ‚INESS‘. Kaip matome, šis sufiksas turi du alomorfus; pasirinkimas tarp jų leidžia išlaikyti žodžio formos harmoniškumą. ‚Žemėje‘ bus /ma:ssa/, o ‚galvoje‘ – /pæ:ssæ/. Jei laikysime, kad visos trys čia minėtos morfemos (‚galva‘, ‚žemė‘ ir ‚INESS‘) turi po invariantišką giluminę formą ||ma:||⁹, ||pæ:|| ir ||ssa||, o pastarajai paversti į paviršinę /ssæ/ jau yra reikalingi fonologiniai procesai, tada harmonijos tipą išduos šių fonologinių procesų prigimtis.

Įsivaizduokime, kad žodis ‚galvoje‘ turi disharmonišką giluminę formą ||pæ: + ssa||¹⁰. Harmonijai atkurti pradamas vykdyti fonologinis procesas, kuris paveikia po vieną fonemą iš žodžio kairės į dešinę, kaip vaizduojame 4 paveiksle.



4 pav. Harmonija per atstumą kaip fonologinis procesas

Analogiška schema, tik su prielaida, kad suomių kalboje veikia nuosekloji harmonija, vaizduojama 5 paveiksle.

⁹ Dvigubais vertikaliais brūkšniais žymima giluminė (morfonologinė) forma. Lietuviškojoje tradicijoje, ko gero, čia dažniau vartojami riestiniai skliaustai: {ma:}.

¹⁰ Analogiškai galime tarti, kad inesyvo sufiksas yra ||ssæ|| – tada disharmoniškas išeis kitas mūsų nagrinėjamas žodis, ||ma: + ssæ||.

1)	p	æ:	+	s	s	ɑ	(be pakeitimų)
2)	p	æ:	+	s	s	ɑ	(be pakeitimų)
3)	p	æ:		s	s	ɑ	pašalinti morfemų ribą
4)	p	æ:		s ^j	s	ɑ	suminkštinti /s/ į /s ^j /
5)	p	æ:		s ^j	s ^j	ɑ	suminkštinti /s/ į /s ^j /
6)	p	æ:		s ^j	s ^j	æ	supriešakinti balsį /ɑ/ į /æ/

5 pav. Nuosekloji harmonija kaip fonologinis procesas

Kaip minėta, nuosekloji harmonija skiriasi nuo harmonijos per atstumą tuo, kad su harmonija susiję asimiliaciniai pakeitimai atliekami visoje atkarpoje nuo asimiliuojančiojo elemento – vadinamojo harmonijos *sukėlėjo* (angl. *trigger*) – iki tolimiausio asimiliuojamojo elemento, arba *taikinio* (angl. *target*).

6 paveiksle tai pateikiama schemiškai, pagal Rose ir Walker (2011), kur subskriptai *i, j, k* žymi fonemų požymius ar jų rinkinius.

Harmonija per atstumą:

$$||V_i C_j V_k|| \rightarrow /V_i C_j V_i/ \text{ arba } /V_k C_j V_k/$$

Nuosekloji harmonija:

$$||V_i C_j V_k|| \rightarrow /V_i C_i V_i/ \text{ arba } /V_k C_k V_k/$$

6 pav. Harmonijos per atstumą ir nuoseklosios harmonijos schemiškos formuluočių

2.2. Harmonija – procesas ar struktūros suvaržymas?

Matėme, kad harmoniją *galima, bet nebūtina*, suvokti kaip procesą, dalyvaujantį verčiant giluminę fonologinę formą į paviršinę fonologinę formą. Kai harmonija suvokiama kaip procesas, egzistuoja harmonijos sukėlėjas (angl. *trigger*) ir taikinys (angl. *target*). Sukėlėjas dalį savo požymių nukopijuoja taikiniui.

Jei renkames harmonijos neinterpretuoti kaip proceso, nusakančio santykį tarp giluminės ir paviršinės formos, lieka galimybė ją suvokti kaip suvaržymą, pritaikomą tik paviršinėms formoms. Svarbu, kad analogiškai galima traktuoti bet kokią asimiliaciją, ne tik harmoniją.

Pavyzdžiui, lietuvių kalboje prieš priešakinės eilės balsius /ɛ, e:, ɪ, i:, i̯/ priebalsiai *tampa* minkštieji (Ulvydas, red., 1965: 112). Tai – procesinė asimiliacijos samprata: priebalsis, „praeityje“ buvęs kietasis, virsta minkštuoju – pakeičia savo minkštumo požymio vertę. Šiam skirtumui tarp

„praeities“ ir „ateities“ formalizuoti bene visada pasitelkiama skirtis tarp giluminės (morfonologinės) ir paviršinės (grynosios fonologinės) formų.

Tačiau tokia traktuotė neprivaloma – vietoje to galime eliminuoti šį skirtumą tarp „praeities“ ir „ateities“ ir tiesiog tarti, kad prieš priešakinės eilės balsius įmanomi tik minkštieji priebalsiai. Tai – paviršinių formų struktūros suvaržymas. Būtent šios prieigos prie visų fonologinių reiškinių bus imamasi visame likusiame darbe.

Žinoma, tokia traktuotė verčia nurašyti kai kuriuos įdomius klausimus (pvz., ar harmonija kalboje \mathcal{L} veikia progresyviai, ar regresyviai?) kaip kokios nors kitos srities – veikiausiai morfonologijos – reikalą. Vis dėlto, diskusijoms apie fonotaktiką tokia demarkacija literatūroje yra nusistovėjusi kaip labai pravarti (plg. Aksėnova et al., 2020).

2.3. Ar harmonijos sąvoka būtina?

Matėme, kad dalį harmonijos sistemų, kurios iš pažiūros atrodo kaip harmonija per atstumą, galima mėginti perinterpretuoti kaip nuosekliają harmoniją. Dalis tokių bandymų atrodo sėkmingi (Ní Chiosáin ir Padgett, 2001).

Gali kilti klausimas: jei pavyktų konstatuoti, kad *visos* harmonijos yra nuosekliosios, ar apskritai harmonijos sąvoka beįneštų ką naują į fonologijos sąvokų inventorių? Toks klausimas pagrįstas, nes nuoseklioji harmonija, galiojanti fonemų sekoje $\varphi_1\varphi_2\varphi_3\cdots\varphi_{N-1}\varphi_N$, atskirai galioja ir gretimų fonemų porose (bigramose¹¹) $\varphi_1\varphi_2, \varphi_2\varphi_3, \dots, \varphi_{N-1}\varphi_N$. Iš esmės, tai yra paprasčiausia gretimų segmentų porų asimiliacija, įvykusi daug kartų.

Šį nuogaštavimą galima motyvuoti lietuvių kalbos priebalsių harmonijos¹² pagal minkštumą pavyzdžiu. Kai susidaro priebalsių samplaika, kaip kad /rʲbʲli/ žodyje *žvirblis*, ji visa privalo susidėti arba vien iš minkštųjų (kaip kad yra šiuo atveju), arba vien iš kietųjų priebalsių. Ar pavadindami šį reiškinį „harmonija“, ką nors laimime, užuot tiesiog išvelgdami suvaržymą *CVCi („negalimà seka iš kietojo ir minkštojo priebalsio“), kuris šioje samplaikoje įsigaliojo du kartus – tarp /rʲbi/ ir /bʲli/?

Tai gali atrodyti kaip tuščios terminologinės dvejonės, tačiau pasekmės modeliuojant harmonijos reiškinius čia yra esminės (Heinz, 2007: 120). Tarkime, kad agentas A_1 – žmogus, algoritmas ar kas kita – moka įvertinti kiekvieną pateiktą dirbtinį žodį pagal tai, ar jame paisoma lietuvių kalboje galiojančios minkštumo harmonijos. Agentas A_0 , kita vertus, to nemoka. Kaip agentui A_0 įgyti tokias pat žinias? Egzistuoja elementari strategija – įsiminti visas bigramas (dviejų gretimų fonemų kombinacijas).

¹¹ Komputacinės fonologijos literatūroje *bigramos* sąvoka su šia reikšme yra vienareikšmiškai įsigalėjusi, nepaisant to, kad kalbama ne apie grafemų, o fonemų kombinacijas.

¹² Ko gero, iki šiol niekada nevadintos šiuo terminu, bet visiškai atitinkančios Rose ir Walker (2011) teikiamą harmonijos apibrėžtį.

Ši strategija yra triviali, bet nuosekliųjų harmonijų atveju ji korektiška; negana to – efektyvi ir net lengvai adaptuojama¹³, jei norėtume vertinti žodžius skirtingais priimtimumo lygiais (kiekybiškai), o ne vien ar jie yra priimtini, ar nėra (kategoriškai, kokybiškai).

Jei pasirodytų, kad visos harmonijos sistemos yra nuosekliosios, galima būtų čia pat baigti diskusiją apie XYZ efektą ir, tiesą sakant, didelę dalį diskusijų apie fonotaktikos sudėtingumą. Kaip matysime 3.1 skyriuje, fonotaktikos reiškiniams, paaiškinamiems bigramų suvaržymais, XYZ efekto teisingumą parodyti yra labai paprasta. Iš tiesų efektui galioti netgi nebūtų reikalinga įvestis XZ – pakaktų rekombinavimo pagal šabloną XY, YZ → XYZ.

Toliau darbas bus tęsiamas su prielaida, kad tarp harmonijos sistemų, kurioms XYZ efekto galiojimą parodyti nėra elementaru, egzistuoja bent dalis tikrųjų harmonijų per atstumą.

2.4. Harmonijos blokavimas

Tęskime 2.3 skyriaus pavyzdį apie lietuvių kalbos priebalsių harmoniją pagal minkštumo požymį. Yra žinoma, kad šios harmonijos kontekste veliariniai priebalsiai /k, g/ elgiasi ypatingai (Ulvydas, red., 1966: 113). Kad pademonstruotume šią elgseną, kurią vėliau vadinsime harmonijos *blokavimu*, dėl vaizdumo trumpam grįžkime prie procesinio harmonijos vaizdo (2.1 skyrius).

Imkime žodį *šerkšnė*. Tarkime, kad jo kamienas iš pradžių baigiasi kietaisiais priebalsiais, o paskui jie yra asimiliuojami priešakinio galūnės balsio: $||\text{ʃer}k\text{ʃn} + \epsilon||$. Tai – regresyvinis procesas, tad judama iš dešinės į kairę, kaip kad parodyta 7 paveiksle.

1)	ʃ	ε	r	k	ʃ	n	+	ε	(be pakeitimų)
2)	ʃ	ε	r	k	ʃ	n		ε	pašalinti morfemų ribą
3)	ʃ	ε	r	k	ʃ	nʲ		ε	suminkštinti /n/ į /nʲ/
4)	ʃ	ε	r	k	ʃʲ	nʲ		ε	suminkštinti /ʃ/ į /ʃʲ/
5)	ʃ	ε	r	k	ʃ	nʲ		ε	(be pakeitimų)
6)	ʃ	ε	r	k	ʃ	nʲ		ε	(be pakeitimų)
7)	ʃ	ε	r	k	ʃ	nʲ		ε	(be pakeitimų)
8)	ʃ	ε	r	k	ʃ	nʲ		ε	(be pakeitimų)

7 pav. Užblokuota harmonija kaip fonologinis procesas

7 paveikslo 5 punkte, ties /k/, minkštėjimas sustoja, ir samplaika /rk/ lieka kieta. Svarbu, kad ši elgsena yra fakultatyvi ir priklausoma nuo konkrečių priebalsių kairėje (bei jų kiekio). Tarimas

¹³ Šiuo atveju tereikėtų papildomai įsiminti bigramų dažnius.

/ʃɛrɪkɪʃnɛ/, kur visi žodžio priebalsiai yra minkštieji, taip pat yra dažnas ir todėl fonotaktiškai priimtinas.

Žvelgiant į harmoniją kaip į suvaržymą – nebe kaip į procesą – blokatoriai, tokie kaip šie /k, g/, nebeturi tokio aiškaus vaidmens, išskyrus tai, kad jie *dalija* žodį į harmonijos savarankiško veikimo sritis – domenų. Mintyse pašalinus blokatorius, domenai susilietų ir dažnu atveju atsirastų disharmonija. (Beje, tokie pat blokatoriai, tik neturintys fonetinio turinio, yra kai kurios morfemų ribos, kaip kad riba tarp sudurtinio žodžio dėmenų suomių kalboje – žr. 2.1 skyrių.)

2.5. Navahų kalbos priebalsių žvarbumo harmonija

Navahų kalboje (angl. *Navajo*, Glottolog: nava1243, atabaskų šeima) egzistuoja priebalsių harmonija, kurioje dalyvauja dvi priebalsių grupės: nežvarbieji (sargieji) /s, z, dz, ts, tsʰ/ ir žvarbieji /ʃ, ʒ, dʒ, tʃ tʃʰ/¹⁴ (Sapir ir Hoijer, 1967: 14). Keletas pavyzdžių pateikiama 8 paveiksle.

Perfektyvo prefiksas /si ~ ʃi/			
/si-ʒá/	„apvalus daiktas guli“	/ʃi-ʒɪʃ/	„tai yra sulenкта“
/si-tí/	„jis guli“	/ʃi-té:ʒ/	„juodu (= jie.DU) guli“
		/ʃi-dʒà:ʔ/	„luitas guli“
*/si-tʃid/ (disharmoniškąs)		/ʃi-tʃid/	„jis pasilenkia“

8 pav. Keli navahų kalbos priebalsių harmonijos pavyzdžiai ir vienas disharmonijos pavyzdys, pakartojami iš Sapir ir Hoijer (1967).

Ši harmonija nėra privaloma; ji kartais neįvyksta (a) lėtoje kalboje arba (b) tada, kai tarp harmonijos siejamų segmentų yra daug kitų segmentų. Laikinau supaprastinkime padėtį ir tarkime, kad ši harmonija yra visada privaloma.

Žvelgiant formaliai – atsiribojant nuo fonetinės substancijos – tai yra tokia pat harmonija, kaip suomių kalboje (žr. 2.1 skyrių). Tai iliustruojama 9 paveiksle.

<i>Suomių</i>		<i>Navahų</i>		<i>Glosa</i>
/a, o, u/	↔	/s, z, dz, ts, tsʰ/	↔	A
/æ, ø, y/	↔	/ʃ, ʒ, dʒ, tʃ tʃʰ/	↔	B
/i, e/	↔	/ʔ, ʁ, t, d, .../	↔	T ¹⁵
C	↔	V	↔	T

9 pav. Atitiktis tarp suomių kalbos ir navahų kalbos harmonijų

¹⁴ Sapiro ir Hoijerio (op. cit.) vartojama amerikanistinė transkripcija pakeista į TFA pagal Golla (2011: 284).

¹⁵ Pagal anglų *transparent* „permatomas“.

10 paveiksle pateikiami du pavyzdžiai, kaip (pagal 9 paveikslo siūlymą) glosuojamos¹⁶ harmonijoje dalyvaujančios garsų grupės.

/ s I - ʔ á /	,apvalus daiktas guli‘
AT T T	
/ ∫ I - ʏ I ∫ /	,tai yra sulenкта‘
BT T T B	

10 pav. Harmonijos glosavimo pavyzdys (navahų kalba)

Dar labiau paprastindami padėtį, bet neprarasdami bendrumo, toliau dirbkime tik su harmonijos glosomis. Dabar galime tarti, kad navahų (arba suomių) kalbos balsių inventorius susideda tik iš „hiperfonemų“ A, B, T.

Harmoniją tuomet galime nusakyti kaip tokį suvaržymą: viename žodyje nemaišyti A ir B. Simboliais galėtume rašyti *A(T…T)B ir *B(T…T)A.

11 paveiksle išvardytos kai kurios sekos, sudarytos iš šių glosavimo simbolių. Tos sekos, kurios yra harmoniškos, išskirtos juodesniu atspalviu (ir žvaigždutės nebuvimu). Pamėginkime pritaikyti XYZ efektą trimis jų kombinacijoms:

1. XY, YZ ir XZ = AT, TT ir AT. Tada XYZ = ATT irgi harmoniška.
2. XY, YZ ir XZ = TTB, BT ir TTT. Tada XYZ = TTBT irgi harmoniška.
3. XY ir YZ = AT ir TB. Tačiau kadangi neegzistuoja harmoniška seka XZ = *AB, negalime rekombinavimo būdu išvesti ir kitos disharmoniškos XYZ = *ATB.

AA	*AB	AT	*BA	BB	BT	TA	TB	TT
AAA	*AAB	AAT	*ABA	*ABB	*ABT	ATA	*ATB	ATT
*BAA	*BAB	*BAT	*BBA	BBB	BBT	*BTA	BTB	BTT
TAA	*TAB	TAT	*TBA	TBB	TBT	TTA	TTB	TTT

11 pav. Kai kurios logiškai įmanomos sekos iš simbolių A, B, O, T ir jų harmoniškumas

Kol kas su XYZ efekto taikymu sunkumų nematyti. Pamėginkime suformuluoti schemišką argumentą, kurio pagalba įsitikintume efekto teisingumu bendruoju atveju.

Kadangi harmoniškuose žodžiuose negali būti iškart ir simbolio A, ir B, galime klasifikuoti harmoniškus žodžius (garsų sekas) į A-žodžius ir B-žodžius. Tuos, kuriuose nėra nei A, nei B, laikysime T-žodžiais.

¹⁶ Šis terminas čia yra tik aliuzija į lingvistikos literatūroje įprastas morfosemantines glosas. Šiuo atveju, minint „glosavimą“, turima omenyje, kad fonemos grupuojamos į kelias stambias grupes, pažymimas po transkribuotomis fonemomis arba išvis vietoje jų.

Tokiu būdu tampa įmanomos $3 \times 3 \times 3 = 27$ kombinacijos, kokio tipo žodžiai (A, B, T) gali sudalyvauti taikant XYZ efektą. Kelios iš jų išvardytos 12 paveiksle.

XY	YZ	XZ	→	XYZ
A-žodis	A-žodis	A-žodis	→	A-žodis
A-žodis	A-žodis	B-žodis	→	disharmonija (1)
A-žodis	A-žodis	T-žodis	→	A-žodis
A-žodis	B-žodis	A-žodis	→	disharmonija (2)
A-žodis	B-žodis	B-žodis	→	disharmonija (3)
		⋮		
T-žodis	T-žodis	T-žodis	→	T-žodis

12 pav. A-, B- ir T-žodžiai kaip rekombinavimo įvestys

Panagrinėkime tris tariamai kilusias disharmonijas, nurodytas 12 paveiksle:

1. Jei XY ir YZ yra A-žodžiai, reiškia, kad ir jų fragmentai X, Y ir Z yra A-žodžiai (arba T-žodžiai). Iš to išplaukia, kad nei X, nei Y sudėtyje nėra B segmento. Taigi XZ negali būti B-žodis, todėl toks menamas kontrpavyzdys iš tiesų yra logiškai neįmanomas.
2. Jei XY ir XZ yra A-žodžiai, tai taip pat reiškia, kad jų fragmentai X, Y ir Z yra arba A-žodžiai, arba T-žodžiai. Vėlgi, tokia rekombinavimo įvesčių kombinacija {XY, YZ, XZ}, kokios šioje grafoje siekėme, paprasčiausiai neatsiras, nes XY negali būti B-žodis.
3. Jei YZ ir XZ yra B-žodžiai, tai analogiškai reiškia, kad X, Y ir Z yra arba B-žodžiai, arba T-žodžiai. Čia įmanoma tokia pat replika, kaip ir 1 ir 2 atvejais.

2.6. Fakultatyvių harmonijų traktavimas

Šiame darbe buvo įsipareigota atkurti svarbų supaprastinimą, susijusį su faktu, kad navahų kalbos harmonija yra fakultatyvi.

Galime įsivaizduoti situaciją, kur taikant XYZ efektą, bus parinktos trys įvestys XY, YZ ir XZ, kurių visos trys bus fonotaktiškai priimtinos, bet *skirtingomis aplinkybėmis*¹⁷. Tokiu atveju rekombinavimo produktas XYZ gali netyčia būti sugeneruotas pertekliška (angl. *overgenerated*), jei nebus patikslinta, kokiomis aplinkybėmis priimtinas ir jis.

¹⁷ Nėra akivaizdu, kad tokios aplinkybės visada egzistuos. Įmanoma įsivaizduoti ir harmonijos sistemą, kurios taikymas būtų visiškai fakultatyvus. Tačiau panašu, jog tokiu atveju nebelieka būdo, kaip tokia harmonija gali paveikti vertinimus, ar duota fonemų seka yra panaši į įmanomą žodį kalboje \mathcal{L} . Dėl šios priežasties galime laikyti, kad tokia harmonija nebėra tikra fonotaktikos dalis ir dėl to nėra aktuali šiame darbe.

Tačiau panašu, kad priimtino aplinkybes taip pat galima formalizuoti ir įtraukti į XYZ efekto formuluotę. Pavidalą $XY, YZ, XZ \rightarrow XYZ$ galima paversti į $XY_p, YZ_q, XZ_r \rightarrow XYZ_{p \cap q \cap r}$, kur subskriptai p, q, r ir $p \cap q \cap r$ reiškia priimtino aplinkybes.

„ \cap “ yra aibių sankirtos simbolis. Aibių sankirta, savo ruožtu, yra operacija, paliekanti iš dviejų aibių tik tuos elementus, kurie joms bendri. Pavyzdžiui, $\{\Delta, \square, \circ\} \cap \{\Delta, \diamond, \circ\} = \{\Delta, \circ\}$. Taip formuluodami XYZ efektą, turime omenyje, kad produktas XYZ „paveldi“ būtent tas priimtino aplinkybes, kurios yra bendros tarp p, q ir r – atgaminkime, kad šios raidės žymi atitinkamai įvesčių XY, YZ ir XZ priimtino aplinkybes.

Dėl konkretumo įsivaizduokime tris skirtingas aibes, perteikiančias skirtingas priimtino aplinkybes: $\{\text{LĖTOJEKALBOJE}\}$, $\{\text{GREITOJEKALBOJE}\}$ ir $\{\text{LĖTOJEKALBOJE}, \text{GREITOJEKALBOJE}\}$. Sukonstruokime dirbtinę kalbą, kurioje, kaip navahų kalboje, veikia neprivaloma žvarbumo harmonija: trys žodžiai iš jos galėtų būti $/\text{sofo}/_{\{\text{LĖTOJEKALBOJE}, \text{GREITOJEKALBOJE}\}}$, $/\text{oso}/_{\{\text{LĖTOJEKALBOJE}\}}$, $/\text{sofo}/_{\{\text{LĖTOJEKALBOJE}\}}$.

Pritaikius XYZ efektą išeis $/\text{sofofo}/_{\{\text{LĖTOJEKALBOJE}\}}$, kadangi $\{\text{LĖTOJEKALBOJE}, \text{GREITOJEKALBOJE}\} \cap \{\text{LĖTOJEKALBOJE}\} \cap \{\text{LĖTOJEKALBOJE}\} = \{\text{LĖTOJEKALBOJE}\}$.

Pastebėtina, kad sankirtos būdu įmanoma gauti ir tuščią aibę. Tai reikš, kad rekombinavimo įvestys yra priimtinos nesutaikomomis aplinkybėmis, ir dėl to produktas XYZ faktiškai nepriimtinas.

Šiam formalizmui galima sukurti ir kiekybinį atitikmenį. Jei fonotaktinį priimtinoumą norime laipsniuoti iki 0 iki 1 (nuo 0% iki 100%), galime pagal panašią logiką XYZ efektui suteikti pavidalą $XY_p, YZ_q, XZ_r \rightarrow XYZ_{\min\{p, q, r\}}$. Čia p, q, r būtų įvesčių priimtino iverčiai, o $\min\{p, q, r\}$ – žemiausias iš šių trijų iverčių.

2.7. Slovėnų kalbos priebalsių žvarbumo harmonija

Slovėnų kalba (Glottolog: *slov1268*, indoeuropiečių šeima) turi harmoniją tarp sargiųjų priebalsių $/s, z, ts/$ ir žvarbiųjų $/ʃ, ʒ, tʃ/$ (Jurgec, 2010: 330). Žvelgiant į fonetinę substanciją, tai primena navahų kalbos atvejį, nagrinėtą 2.5 skyriuje. Ši harmonija taip pat yra neprivaloma.

Kita vertus, svarbus skirtumas yra tas, kad šįkart harmonijoje dalyvauja blokatoriai $/t, d/$. Tai yra analogiška priebalsių $/k, g/$ vaidmeniui lietuvių kalbos minkštumo harmonijoje (2.4 skyrius), tik šįkart harmonija nėra nuoseklioji, ar bent paviršišškai neatrodo tokia. Harmonijos ir dishamonijos pavyzdžiai pateikiami 13 ir 14 paveiksluose.

Šiame skyriuje šiai harmonijai bus dirbtinai suteikiamas privalomos harmonijos vaizdas, kaip ir su navahų kalba, viliantis, kad šį supaprastinimą galima atkurti pasitelkus 2.6 skyriaus formalizmą.

/spi/	,miega‘	→	/ʃpi-ʃ/	,miegi‘
			*/spi-ʃ/	–
/zaklon/	,priedanga‘	→	/zaklon-iʃʃe/	,slėptuvė‘
			*/zaklon-iʃʃe/	–
/tsepəts/	,kvailys‘	→	/ʃepʃ-ək/	,kvailys-DIM‘
			*/tsepʃ-ək/	–

13 pav. Slovėnų kalbos priebalsių harmonijos (ir disharmonijos) pavyzdžiai be blokatorių, pakartojami iš Jurgec (2010: 330)

/sit/	,sotus‘	→	/na-sit-iʃ/	,pasotini‘
			*/na-ʃit-iʃ/	#,pasotini‘
/zida/	,stato‘	→	/zida-ʃ/	,statai‘
			*/zida-ʃ/	#,statai‘

13 pav. Slovėnų kalbos priebalsių harmonijos (ir disharmonijos) pavyzdžiai *su* blokatoriais, pakartojami iš Jurgec (2010: 330)

Fonemas galima būtų glosuoti taip:

- A = /s, z, ts/,
- B = /ʃ, ʒ, ʃʃ/,
- O = /t, d/ – blokatoriai, pagal angl. *opaque* ‚nepermatomas‘,
- T = likusios fonemos.

Dabar teiginys, iškeltas navahų kalbai 2.5 skyriuje, kad A ir B maišyti viename žodyje negalima, nebėra teisingas slovėnų kalbai, nes tokia kombinacija įmanoma, jei tik per vidurį yra blokatorius (A...O...B arba B...O...A).

Nors scheminį XYZ efekto pagrindimą, mūsų vystytą navahų kalbai, galima išplėsti ir atkartoti čia, iš tiesų tai padarytų jį labai ištęstą ir neilustratyvų. Vietoje to, kadangi harmoniją pakankamai formalizavome, galime išvystyti dedukcinio pobūdžio įrodymą.

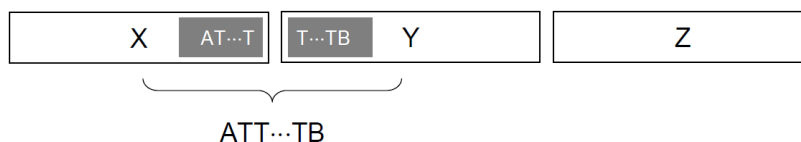
Įrodykime XYZ efektą slovėnų kalbos priebalsių harmonijai kontrapozicijos būdu. Kitaip tariant, vietoje teiginio ‚jei sekos XY, YZ ir XZ harmoniškos, tada tokia yra ir XYZ‘ įrodykime jam ekvivalentų teiginį ‚jei seka XYZ disharmoniška, tada tokia yra ir bent viena iš sekų XY, YZ, XZ‘. Kontrapozicija detaliau minėta 1.5 skyriuje.

Jei seka XYZ disharmoniška, reiškia, kažkurioje jos vietoje yra smulkesnė seka $*A(T\cdots T)B$ arba $*B(T\cdots T)A$ ¹⁸. Kitaip sakant, kažkur joje segmentai A ir B arba yra vienas šalia kito, arba yra skiriami tik T segmentų (bet kokio skaičiaus jų).

Išnagrinėkime visus atvejus, kur galėtų driektis ši seka $*A(T\cdots T)B$ arba $*B(T\cdots T)A$. Vadinkime ją harmonijos *pažeidimo seka*.

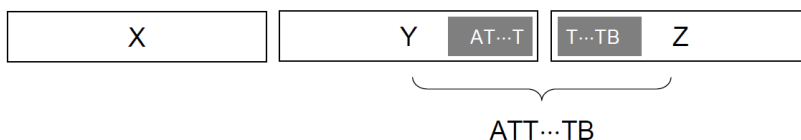
Jei pažeidimo seka visiškai išsitenka kuriame nors iš fragmentų X, Y arba Z, tokiu atveju iškart gauname, kad ji patenka į XY, YZ arba XZ, padarydama bent vieną iš pastarųjų įvesčių disharmonišką. To šiame įrodyme ir siekiame.

Jei pažeidimo seka tęsiasi per X fragmento pabaigą ir Y fragmento pradžią, kaip parodyta 15 paveiksle, taip pat iškart gauname, kad įvestis XY yra disharmoniška.



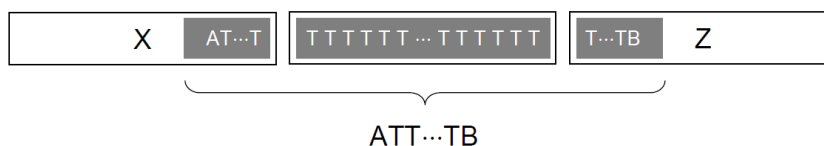
15 pav. Pažeidimo seka driekiasi per X ir Y fragmentus.

Su analogiška baigtimi susiduriame ir ištesdami pažeidimo seką per Y fragmento pabaigą ir Z fragmento pradžią (16 paveikslas). Šiuo atveju disharmoniška lieka įvestis YZ.



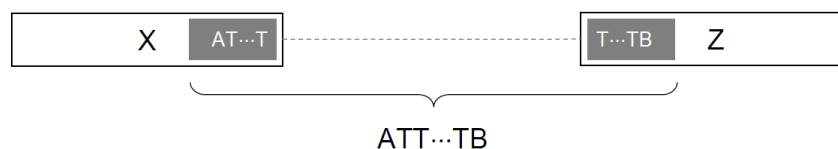
16 pav. Pažeidimo seka driekiasi per Y ir Z fragmentus.

Galiausiai, jei pažeidimo seka apima visus tris fragmentus X, Y ir Z, kaip 17 paveiksle, galime mintyse pašalinti Y fragmentą ir atskleisti (kaip 18 paveiksle), kad tokiu atveju disharmoniška tampa seka XZ.



17 pav. Pažeidimo seka driekiasi per visus tris fragmentus – X, Y ir Z.

¹⁸ Iliustracijose bus rodomas tik pirmesnis atvejis – $*A(T\cdots T)B$.



18 pav. Analogiškai 17 paveikslui, pažeidimo seka driekiasi per visus tris fragmentus – X, Y ir Z. Vidurinis fragmentas, Y, šįkart pašalintas iš vaizdo.

Išbandę visus galimus būdus patalpinti pažeidimo seką, gavome, kad jei ji yra sekoje XYZ, ji taip pat neišvengiamai yra bent vienoje iš sekų XY, YZ ir XZ. Tai leidžia mums sėkmingai užbaigti įrodymą kontrapozicijos būdu – XYZ efektas galioja slovėnų kalbos priebalsių harmonijai.

**

Harmonijų glosavimas {A, B, O, T} simboliškai įveda papildomo abstraktumo, kuris nebūtinai bus pageidaujamas, bet tai, visų pirma, gerokai supaprastino čia vystyto įrodymo struktūrą ir, antra, leidžia lengvai perkelti teiginius kitoms harmonijoms, kurios šitaip suglosuotos atrodo identiškai.

Alėna Aksėnova ir kolegės (Aksėnova et al., 2020), pasitelkdami $MTSL_2$ (angl. *multiple tier-based strictly 2-local*) aibių formalizmą, išvardija įvairias harmonijos sistemas iš 20 skirtingų kalbų (Aksėnova et al., 2020: 16), kurios, jas suglosavus čia teikiamu būdu, visos turėtų tokį patį vaizdą arba kaip navahų (2.5 skyrius), arba kaip slovėnų kalbų harmonijos. Čia patenka, pavyzdžiui, kirgizų (Hebert ir Poppe, 1963; Kaun, 1995), buriatų (van der Hulst ir Smith, 1987), sachų (= jakutų; Menz ir Monastyrev, 1998), tašelhitų (Hansson, 2010a; Hansson, 2010b) kalbų harmonijos.

2.8. Jaka kalbos priebalsių nosinumo harmonija

Jaka kalboje (angl. *Yaka*, Glottolog: *yaka1270*, siauroji bantų šeima) egzistuoja prenazalizuoti sprogstamieji priebalsiai $[\widehat{nd}, \widehat{mb}, \widehat{ng}]$. Juos traktuojant kaip viengubus segmentus, šioje kalboje galima aprašyti priebalsių harmoniją pagal nosinumą (Hyman, 1995), formaliai (kitaip sakant, po glosavimo) niekuo nesiskiriančią nuo 2.5 skyriuje aprašytosios navahų priebalsių harmonijos pagal žvarbumą. Priebalsių grupė $A^{19} = /m, n/$ būtų harmoninėje priešpriešoje su $B = /d/$; minėtieji $[\widehat{nd}, \widehat{mb}, \widehat{ng}]$ nedalyvautų šioje harmonijoje. Pavyzdžiai pateikiami 19 paveiksle.

¹⁹ Šiame skyriuje jau be papildomų paaiškinimų remiamasi harmonijų glosomis {A, B, O, T}, išvystytomis per 2.5 ir 2.7 skyrius.

/tsúb-idi/	,klajoti-PFV‘	=	TTTT-TBT
/kúd-idi/	,vytis-PFV‘	=	TTB-TBT
/tsúm-ini/	,siūti-PFV‘	=	TTTA-TAT
/kún-ini/	,sodinti-PFV‘	=	TTA-TAT
/bímb-idi/	,bučiuoti-PFV‘	=	TTTT-TBT
/kúúnd-idi/	,užkasti-PFV‘	=	TTTT-TBT
/mwááŋg-ini/	,sėti-PFV‘	=	ATTTT-TAT
/nááŋg-ini/	,trukti-PFV‘	=	ATTT-TAT

19 pav. Jaka kalbos priebalsių harmonijos pavyzdžiai, pakartojami iš Hyman (1995)

Tačiau Rachel Walker (2000), remdamasi Jaye Padgettu (Padgett, 1995) ir Elizabeth C. Sagey (1986), teigia, kad prenatalizuotieji priebalsiai [n̄, m̄, ŋ̄] analizuotini kaip segmentų poros /n/ + /d/, /m/ + /b/ ir /ŋ/ + /g/, atitinkamai.

Tai komplikuoja harmonijos vaizdą, nes segmentai /m, n/, šiaip jau besielgiantys kaip glosa A, atsidūrę tiesiai prieš /d, b, g/, ima elgtis kaip glosa T.

20 paveiksle kontrpavyzdžiu parodoma, kad XYZ efektas *negalioja* jaka kalbos nosinumo harmonijai, jei tik [n̄, m̄, ŋ̄] yra traktuojami kaip segmentų poros.

XY	=	/ n i /	
YZ	=	/ i d i /	
XZ	=	/ n d i /	(neanalizuojama kaip /n̄di/)
XYZ	=	* / n i d i /	

20 pav. Kontrpavyzdys XYZ efektui iš dirbtinių jaka kalbos žodžių

2.9. Njangbo kalbos balsių įtempumo harmonija

Tai paskutinė, ir, ko gero, kompleksiškiausia iš harmonijos sistemų, kurią aptarsime. Njangbo kalba (angl. *Nyangbo*, Glottolog: nyan1302, Atlanto-Kongo šeima) turi balsių harmoniją pagal liežuvio šaknies poslinkį (angl. ATR – *advanced tongue root*). Šis požymis pagal fonetinę substanciją artimas įtempumui (angl. *tenseness*).

Harmonijos priešpriešą sudaro balsių grupės A = /i, e, u/ ir B = /ɪ, ɛ, a, ɔ, ʊ/. Egzistuoja blokatorius O = /a/, šiaip jau priklausantis ir B grupei. Ši harmonija ypatinga tuo, kad iš tiesų didumoje žodžių blokatorius /a/ nefunkcionuoja. Jis veiksmingas tik žodžiuose, kurie prasideda

/((C)I/- arba ((C)U/- (McCollum et al., 2020²⁰). Pavyzdžiai, kuriuose /a/ nėra blokatorius, ir pavyzdžiai, kuriuose jis toks yra, pateikiami 21 ir 22 paveiksluose, atitinkamai.

[i-di-wu]	,1SG-ITV-lipti‘	A-TA-TA
[a-tí-ba-bá]	,3SG-NEG-FUT-ateiti‘	T-TB-TB-TB
[e-tí-be-fě]	,3SG-NEG-FUT-augti‘	A-TA-TA-TA
[o-da]	,CL3-varis‘	B-TB
[o-pétě]	,CL3-grifas‘	A-TATA

21 pav. Njangbo kalbos žodžiai, neturintys [(C)I, (C)U]- inicialės; juose /a/ neveikia kaip blokatorius. Pavyzdžiai pakartojami iš McCollum et al. (2020).

[I-ba-di-wu]	,1SG-FUT-ITV-lipti‘	B-TO-TA-TA
[bo-ba-di-wu]	,1PL-FUT-ITV-lipti‘	TB-TO-TA-TA
[kI-ba-bá]	,CL5-FUT-ateiti‘	TB-TO-TO
[kI-ba-fě]	,CL5-FUT-augti‘	TB-TO-TA

22 pav. Njangbo kalbos žodžiai, turintys [(C)I, (C)U]- inicialę; juose /a/ veikia kaip blokatorius. Pavyzdžiai pakartojami iš McCollum et al. (2020).

Kai žodyje nėra [(C)I, (C)U]- inicialės (kaip 21 paveiksluose pavyzdžiuose), njangbo kalboje veikia tokia pat harmonija, kaip navahų kalboje (2.5 skyrius), o /a/ priklauso B grupei. Kita vertus, kai žodyje yra [(C)I, (C)U]- inicialė, veikia tokia pat harmonija, kaip slovėnų kalboje (2.7 skyrius), o /a/ priklauso O grupei. Lieka parodyti, kad taikant XYZ efektą, šios inicialės iš tiesų yra skiriamos, ir todėl dvi harmonijų rūšys nesusipainioja.

Šiuo tikslu buvo atlikta algoritminė simuliacija. Iš inventoriaus /a, u, C/ buvo parinktos visos harmoniškos (ir (C)V skiemens struktūros paisančios) fonemų sekos, kurių ilgiai yra nuo 1 iki 5 imtinai (viso 247 sekos). Dalis jų išvardyta 23 paveiksle.

a	u	o	Ca	Cu	Co	aa	aO	uu	oa
oo	Caa	CaO	Cuu	Coa	COO	aCa	aCO	aaa	aaO
aua	aOO	uCu	uuu	oCa	oCO	oaa	oau	oao	oua
⋮									
ooaua	ooauu	ooaOa	ooaOO	ooOCa	ooOCO	ooOaa	ooOau	ooOao	ooOua

23 pav. Įvestys algoritminei simuliacijai, skirtai parodyti, kad XYZ efektas galioja su njangbo kalbos balsių harmonija

Šioms sekoms buvo automatiškai taikomas XYZ efektas, taip gaunant ilgesnių sekų. Procesas buvo kartojamas iki tol, kol visos naujos sekos tapo ilgesnės nei 8 fonemos. Taip vien XYZ

²⁰ McCollumas ir kolegės (op. cit.) šią kalbą įvardija kitu vardu, *Tutrugbu*.

efekto pagalba išsami sekų imtis iš 1–5 fonemų buvo praplėsta iki sekų imties iš 1–8 fonemų. Galutinė imtis apėmė 4982 sekų – tarp jų, pavyzdžiui, /ɔCaɔɔau/, /Caɔɔɔɔɔ/, /aCɔaCaaa/, /ɔɔCaCɔCɔ/, /ɔCaɔCau/.

Rezultatas buvo palankus – visos sekos galutinėje imtyje taip pat buvo harmoniškos. Jei manysime, (1) kad čia imtą visų įmanomų harmoniškų sekų iš 1–5 fonemų imtis visiškai perteikia njangbo kalbos įtemptumo harmonijos esmę, ir (2) kad efektyvesnės simuliacijos tikslais radikaliai sumažindami fonemų inventorių nepakeitėme harmonijos struktūros, tokiu atveju esame parodę, kad XYZ efektas galioja su šia njangbo kalbos harmonija.

Toks rezultatas gali būti mažiau įtikinamas, nei dedukcinio pobūdžio įrodymas. Vis dėlto, njangbo kalbos įtemptumo harmonija yra pakankamai sudėtinga, kad griežtas XYZ efekto įrodymas būtų labai sunkiai sekamas. Pasitelkdamas baigtinius automatus (angl. *finite-state automata*, FSA), eskizą tokiam įrodymui darbo autorius yra pateikęs rankraštyje šia tema (Rudaitis, 2022: 7–11)²¹.

²¹ <https://ling.auf.net/lingbuzz/006298>

3. Kitų reiškinių keliami iššūkiai

3.1. Bigramų suvaržymai

Kaip minėta 1.7 skyriuje, nepriklausomai nuo konkrečios kalbos, bigramų suvaržymais visada būna galima perteikti daug įvairių fonotaktikos faktų. Bigramų suvaržymas – tai draudimas dviem konkrečioms fonemoms pasitaikyti vienai šalia kitos. Šio tipo suvaržymais galima nusakyti nuosekliają harmoniją (žr. 2.3 skyrių) ir smulkesnius asimiliacijos (bei disimiliacijos) procesus.

Svarbu, kad kai yra pažeidžiamas bigramos suvaržymas, tampa galima rasti, kur fonemų sekoje tai įvyko. „Kalta“ būna viena konkreti tos sekos bigrama, įgijusi neleistiną pavidalą. Pavyzdžiui, drauskime bigramą *[ng] (vietoje jos pageidaujama [ŋg]). Tada, jei išstارسime *laimi[ng]ai, mūsų fonotaktinis pažeidimas visas išsiteks šio žodžio bigramoje *[ng]. Pakeitę ją kitkuo, pažeidimą išspręstume. Taigi tam, kad žodyje nebūtų pažeistas joks bigramų suvaržymas, jame tiesiog turi nebūti nė vienos „blogos“ bigramos.

Parodykime, kad rekombinavimo produkte neatsiranda jokių naujų bigramų, kurių nebuvo įvestyse XY, YZ ir XZ. Jei pastarosiose sekose visos bigramos yra leistinos, tada, reiškia, pažeidimas galėtų iškilti tik susidarius naujai bigramai.

Žymėkime $X = \chi_1\chi_2\cdots\chi_L$, $Y = \psi_1\psi_2\cdots\psi_M$, $Z = \zeta_1\zeta_2\cdots\zeta_N$. Akivaizdu, kad sudėjus XYZ iš šių X, Y ir Z, pavyzdžiui, bigrama $\chi_1\chi_2$, būdama sekos X dalis, papuls ir į XYZ. Mažiau akivaizdu yra dėl šių bigramų:

- 1) $\chi_L\psi_1$ ir
- 2) $\psi_M\zeta_1$.

Iš dabartinio pateikimo gali atrodyti, kad sudūrus X, Y ir Z į XYZ jos susidarys naujai, tačiau prisiminkime, kad sekos X, Y ir Z nėra šiaip sau suduriamos – mes taip pat žinome, kad XY, YZ ir XZ yra fonotaktiškai priimtinos, tad visos bigramos, esančios pastarosiose sekose, irgi yra „geros“.

Konkrečiai, (1) bigrama, $\chi_L\psi_1$, taip pat egzistuos ir įvestyje XY, o (2) bigrama, $\psi_M\zeta_1$, bus jau matyta iš įvesties YZ.

Tai reiškia, kad visos bigramos į rekombinavimo produktą XYZ pakliūva iš įvesčių XY, YZ ir XZ. Būdamos visos priimtinos ten, įvestyse, jos lieka priimtinos ir čia, produkte.

**

Vien tam, kad XYZ efektas paisytų bigramų suvaržymų (ir trigramų suvaržymų, jei užtikriname $|Y| \geq 2$; žr. 3.2 skyrių), įvestis XZ yra pertekliška – pakanka formuluotės $XY, YZ \rightarrow XYZ$. Toks redukuotas XYZ efekto atitikmuo yra jau iš seno žinomas kaip sufiksų pakaitos uždarinys (plačiau minimas 3.2 skyriuje). Metaforiškai, tai yra įvesčių XY ir YZ „susiuvimas“ per bendrą „siūlą“ Y.

3.2. Trigramų suvaržymai

Tai, kas buvo parodyta apie bigramų suvaržymus, trigramoms jau gali nebegalioti. (Trigrama, analogiškai, yra trijų gretimų fonemų seka.)

Tarkime, kad taikant XYZ efektą, fragmentas Y susideda tik iš vienos fonemos ψ , o likę du fragmentai X ir Z lygūs atitinkamai $X = \chi_1\chi_2\cdots\chi_M$, $Z = \zeta_1\zeta_2\cdots\zeta_N$. Dabar, $XYZ = \chi_1\chi_2\cdots\chi_M\psi\zeta_1\zeta_2\cdots\zeta_N$. Trigrama $\chi_M\psi\zeta_1$ susidarė naujai – nė vienoje iš įvesčių XY, YZ, XZ jos nėra.

Konkretus pavyzdys, kurį galima atgaminti iš 1.7 skyriaus, yra iš rusų kalbos: XY = /akr/ ,akras‘, YZ = /rta/ ,burnōs‘, XZ = /akta/ ,akto‘. Išėina X = /ak/, Y = /r/ (= ψ) ir Z = /ta/. Dabar XYZ = */akrta/. Šiame rekombinavimo produkte /krt/ yra nauja trigrama. Kadangi jos nebuvo nė vienoje iš įvesčių XY, YZ, XZ, negalime būti tikri, kad ji nepažeidžia trigramų suvaržymų – ir iš tiesų, šiuo atveju */krt/ yra neleistina trigrama rusų kalboje.

Remdamiesi sufiksų²² pakaitos uždariniu (angl. *suffix substitution closure*; Rogers ir Pullum, 2011: 333), galime būti tikri, jog užtaisysime šią XYZ efekto spragą pridėdami papildomą sąlygą: kad fragmentą Y sudarytų bent 2 fonemos. Simboliais ši sąlyga užrašoma $|Y| \geq 2$.

**

Sufiksų pakaitos uždariniu teigiama, kad tolimesnieji du teiginiai apie bet kokią aibę A ekvivalentūs:

- 1) aibę A sudaro visos įmanomos kurių nors simbolių (pavyzdžiui, fonemų) sekos, kurios paiso tam tikro N-gramų suvaržymo $*\rho_1\rho_2\cdots\rho_N$,
- 2) aibę A sudaro visos tokios simbolių sekos $\{a_1, a_2, a_3, \dots\}$, iš kurių bet kurias dvi suskirsčius pavidalu $a_1 = u_1v_1w_1$ ir $a_2 = u_2v_2w_2$, tokiu būdu, kad $v_1 = v_2$, aibėje taip pat būtinai bus ir seka $a_{1\sim 2} = u_1v_1w_2 (= u_1v_2w_2)$, kurioje sumainytos pabaigos w_1 ir w_2 .

²² Šiame termine sufiksas suvokiamas kaip bet kokia simbolių (fonemų) seka, kuria baigiasi žodis. Tai – tipinė vartoseną iš formaliųjų kalbų teorijos.

3.3. *N*-gramų suvaržymai, kai $N > 3$

Nėra žinoma, kad fonologijoje pasitaikytų platesnių *N*-gramų suvaržymai, nei $N = 2$ ar 3; kitaip sakant, nei bigramų ar trigramų.

Apskritai yra populiariu teigti, kad (segmentinėje²³) fonologijoje skiriami tik trys skaičiai: nulis, vienas ir „daug“ (= du arba daugiau; McCarthy ir Prince, 1996: 1; Kenstowicz, 1994: 597). Trigramų suvaržymai daugiausia reikalingi formuluojant sonoriškumo sekas (Clements, 1990), nors retkarčiais jie atrodo būtini ir kitose fonotaktikos srityse: pavyzdžiui, nusakyti suomių kalbos fonemos /d/ distribucijai (Suomi et al., 2008).

Be abejo, harmoniją per atstumą galima perinterpretuoti kaip *N*-gramų suvaržymus su didele *N* reikšme – $N = 4, 5, 6$, ir, atsižvelgiant į galimą atstumą tarp harmonizuojančių elementų, galbūt daugiau. Vis dėlto, tai nepadeda mums deramai demarkuoti harmonijos reiškinių tipologijos, ir todėl nėra naudinga aptariant XYZ efektą.

3.4. Žodžio pradžios ir pabaigos suvaržymai

Taikant XYZ efektą, seka XYZ – rekombinavimo išvestis – visada prasidės viena rekombinavimo įvestimi XY ir baigiasi kita įvestimi YZ. Jei įvestyje XY egzistuoja bet kokio ilgio inicialinė atkarpa, kurią galėtume laikyti „žodžio pradžia“ ir taikyti jai specifinius fonotaktinius suvaržymus (pvz. *sC- ispanų kalboje; Lema, 1978: 6), tuomet galime būti tikri, kad šia pačia atkarpa prasideda ir išvestis XYZ. Tai reiškia, kad jei XY paiso šių suvaržymų, jų paisys ir XYZ. Visiškai analogiška argumentuotė įmanoma žodžio pabaigos suvaržymams.

3.5. Kiekybiniai suvaržymai

Vieną rečiau aptariamą fonotaktinių suvaržymų rūšį galima apibendrintai pavadinti *kiekybiniais* suvaržymais. Tai yra reikalavimai, kad žodyje būtų *bent N* arba *lygiai N* kokių nors segmentų. Pavyzdžiui, dalyje kalbų fonologinis žodis privalo turėti bent vieną balsį.

Taip pat, balsių redukcijos atveju, fonologinis žodis gali privalėti turėti ir bent vieną (arba *lygiai* vieną) neredukuotą balsį. Tarkime, anglų kalbos [ə] negali būti vienintelis fonologinio žodžio balsis; tai – balsis, kuris pasitaiko tik nekirčiuotuose skiemenyse (Kreidler, 2004: 70). Tačiau būtent dėl šios priežasties jis gali būti grupuojamas į vieną fonemą su kuriuo nors kitu balsiu, pavyzdžiui, [Λ]. Tai reikštų, kad toks kiekybinis suvaržymas galios tik fonetinėje, o ne fonologinėje transkripcijoje. Kadangi pati balsių redukcijos sąvoka implikuoja *arba vienodą, arba mažesnę* balsių

²³ Istoriskai taip manyta ir apie supersegmentinius reiškinius, tačiau šiandien jau žinoma, kad juose esama bent jau trejetainio skaičiavimo atveju (Paster, 2019; Edlefsen et al., 2008). Taip pat yra parodyta, kad psicholingvistinį efektą turi ir fonotaktinių pažeidimų skaičius, fiksuojamas viename pseudožodyje (Breiss, 2020).

inventorių redukuotoje pozicijoje (lyginant su stipriąją kirčiuota), tokios situacijos tikėtumėmės visais jos atvejais.

Ypač gerai žinomi yra tie kiekybiniai suvaržymai, kurie susiję su kirčiu – fonologiniame žodyje (dažnai *a priori*, kaip apibrėžties dalis) gali privalėti būti bent vienas kirtis ir (arba) lygiai vienas pagrindinis kirtis. Tačiau kadangi XYZ efektas šiame darbe traktuojamas tik kaip segmentinis reiškiny (žr. 3.7 skyrių), kirčio klausimų čia nekelsime.

Esama sudėtingesnių kiekybinių suvaržymų. Pavyzdžiui, lotynų kalboje (Mester, 1994) egzistavo fonologiniai kriterijai *minimaliam žodžiui*. Vienskiemenis žodis negalėjo baigtis trumpuoju balsiu; plg. *dā-te* ‚duokite‘, bet *dā* ‚duok‘. Šis suvaržymas nėra visiškai toks, kaip anksčiau aptartieji, nes įprastoje fonologinėje transkripcijoje nebėra segmento, kurio pasitaikymų skaičius būtų bendruoju atveju suvaržytas. Varžomas, žinoma, yra morų skaičius, tačiau jas įtraukti į lotynų kalbos žodžių fonologines reprezentacijas nėra įprasta. Panašus suvaržymas į šį lotynų kalbos atvejį egzistuoja, pavyzdžiui, estų kalboje (Prince, 1980).

Paminėjome tris kiekybinių suvaržymų rūšis: „būtinai bent vienas segmentas“, „būtinai lygiai vienas segmentas“ ir minimalaus žodžio kriterijus. Parodykime, kad XYZ efektas galioja visais šiais atvejais.

Kai žodyje būtinai bent vienas kokio nors tipo segmentas, galime kliauti faktui, kad į rekombinavimo išvestį XYZ pakliūva – visu savo pavidalu (žr. 3.4 skyrių), nors ir persiklodamos – įvestys XY ir YZ. Jei joms taikėme XYZ efektą, reiškia, užtikrinome, kad šios įvestys yra fonotaktiškai taisyklingi (pseudo)žodžiai. Šiuo atveju iš to išplaukia, kad XY ir YZ turėjo bent po vieną iš segmentų, kuriuos skaičiuojame, tad bent vieną turės ir išvestis XYZ.

Kai žodyje būtinai lygiai vienas kokio nors tipo segmentas, XYZ efektas galioja neįprastu, „nebyliuotu“ būdu. Bet kokioje kalboje \mathcal{L} , kurioje fonotaktiškai privalo egzistuoti lygiai vienas kokios nors rūšies segmentas kiekviename žodyje, XYZ efektas bus visiškai neproduktyvus – netrukus tai pagrįsime. Vis dėlto, neproduktyvumas tereiškia, kad įvesčių komplektai {XY, YZ, XZ} tiesiog niekada neatsiras, tad XYZ efektas, formuluojamas kaip implikacija (žr. 1.5 skyrių), liks galioti.

Šis neproduktyvumas susiklosto dėl to, kad jei dvi įvestys XY ir YZ turi lygiai vieną skaičiuojamąjį segmentą, tuomet jis būtinai išsitenka Y fragmente, nes yra bendras šioms įvestims. Tai tuo pačiu reiškia, kad jei mėgintume rasti trečiąją įvestį XZ (be Y fragmento), mums nepavyktų, nes visos kandidatuojančios sekos neturėtų nė vieno skaičiuojamojo segmento.

Galiausiai, minimalaus žodžio kriterijams XYZ efektas, galima manyti, galioja dėl to, kad rekombinavimo išvestis XYZ yra būtinai ilgesnė už bet kurią iš įvesčių XY, YZ ir XZ. Taikant XYZ efektą (pseudo)žodžio sutrumpinti neįmanoma.

3.6. Žodžiai ir kiti domenai

Fonotaktiniai suvaržymai dažnai galioja smulkesniame morfologiškai nusakomame domene, negu visas fonologinis žodis.

Pavyzdžiui, lietuvių kalboje priebalsis /j/ turi labai ribotą distribuciją: vos tik modifikuojame tokį žodį kaip *šokti* į **šjokti*, jis iškart tampa fonotaktiškai nepriimtinas. Vis dėlto, tokios priebalsių samplaikos, kaip minėtoji /ʃj/, yra įmanomos per sandūrą tarp preverbų komplekso ir likusios žodžio dalies, kaip kad veiksmazodyje *iš-juokti* /iʃjuəkʲti/ ar iš jo išvestame daiktavardyje *iš-juok-imas*. Ši sandūra taip pat yra vienintelė vieta, kur susidaro įvairios kitos neįprastos samplaikos – hiatas (pvz. *paakinti* su /ɛa:/), geminatos (pvz. *užželti* su /ʒʒ/ – įvairiose atmainose, bet ne preskribuojamoje normoje), minkštasis priebalsis po kietojo.

Harmonija dažnai liaujasi galioti ties sudurtinių žodžių dėmenų riba. Tai pasakytina, pavyzdžiui, apie latvių (1.1 skyrius) ir suomių (2.1 skyrius) kalbų balsių harmonijos sistemas. Bantų kalbose, kaip kad nagrinėtoje njangbo kalboje (2.9 skyrius), dažnai harmonijoje dalyvauja tik prefiksai ir šaknis – visas žodis, išskyrus sufiksus.

Jei norime, kad XYZ efektas būtų pagavęs morfologiškai determinuotoms domenų riboms, privalome įterpti šias ribas atliepiančius simbolius į transkripciją. Pavyzdžiui, turėtume įterpti sandūros simbolį /+/ į minėtąjį žodį /iʃ + juəkʲti/. Kitu atveju, taikydami XYZ efektą, išvestyje galime nepageidaujamai išgauti riboms būdingas samplaikas ten, kur jokios ribos nėra.

Vis dėlto vargu, ar tai laikytina XYZ efekto trūkumu. Tikėtis, kad XYZ efekte egzistuos mechanizmas nuspėti žodyje egzistuojančioms morfologinėms riboms, reiškia ir tikėtis, kad tai bus morfologinis, ne tik fonologinis efektas – ko gero, talpinantis savyje ir sprendinį (sudėtingam ir iki galo neišspręstam) morfemų segmentacijos uždaviniui.

3.7. Supersegmentiniai reiškiniai

Versijoje, kuri pateikiama šiame darbe, XYZ efektas pristatomas kaip išskirtinai segmentinis reiškiny. Autorius neatmeta galimybės, kad supersegmentinius elementus – kirtį, toną, intonaciją ir kitus – ateityje gali pavykti perteikti koku nors pavidalu, kuriam pavyktų suformuluoti panašų efektą; vis dėlto, šiuo metu joks akivaizdus būdas tai padaryti autoriui nėra žinomas.

Tai, kaip XYZ efektas yra formuluojamas, implikuoja jo taikymą linijinėms elementų sekoms. Supersegmentiniai elementai yra ypatingi būtent tuo, kad neturi aiškios vietos šiose sekose, jei tarsime, kad į jas surikiuojamos fonemos. Sulig autosegmentinės fonologijos (Goldsmith, 1976) atsiradimu tapo populiaru supersegmentinius reiškinius vaizduoti anapus fonemų sekos (kitame *sluoksnyje* – angl. *tier*) ir sieti juos su fonemomis atskirą *asocijavimo linijų* pagalba, kaip vaizduojama 24 paveiksle.



24 pav. Autosegmentinė žodžio /àkálǎ/ reprezentacija; L – žemas tonas, H – aukštas.

Pritaikyta iš Goldsmith (1976: 42).

Matome, kad autosegmentinės reprezentacijos yra grafo (tinklo) pavidalo, o ne linijinės: asocijavimo linijomis galima susieti kelis elementus viename sluoksnyje su vienu kitame sluoksnyje. Net jei atsiribotume nuo šio paties būdo perteikti supersegmentinius reiškinius, liktų galioji faktas, jog struktūriškai jie yra sudėtingesni už grynuosius segmentinius reiškinius.

3.8. Keli fonotaktiniai suvaržymai vienu metu

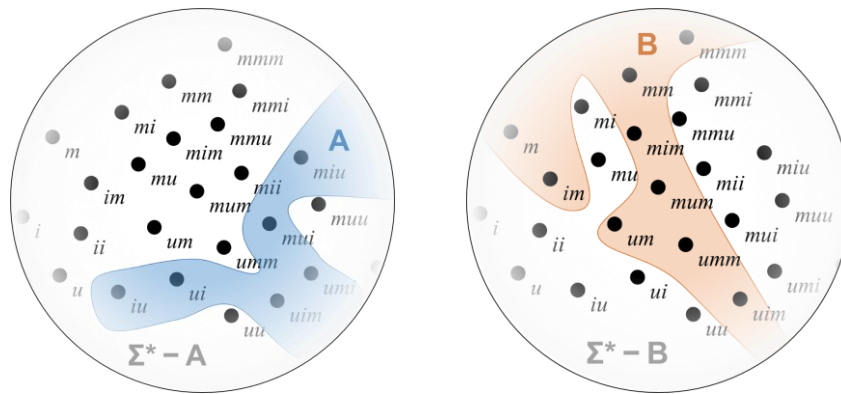
Kiekvienoje kalboje \mathcal{L} įprastai veikia daug fonologinių struktūros suvaržymų; harmonijų tarp jų gali ir nebūti, bet gali būti ir daugiau kaip viena. Tam, kad parodytume, jog XYZ efektas kalboje veikia su visais kalbos \mathcal{L} fonotaktikos reiškiniais, neprivalome jų visų nagrinėti iš karto. Galime juos izoliuoti ir XYZ efektą įrodyti su kiekvienu iš jų atskirai – tai yra ekvivalentu.

Kad šiuo ekvivalentumu įsitikintume, pasitelkime vaizdinę priemonę iš 25 paveikslo. Susikurkime dirbtinę kalbą su fonemų inventoriumi /m, i, u/ ir įsivaizduokime visas įmanomas šių fonemų kombinacijas kaip taškus erdvėje. Begalinį plotą, kuriame išdėstytos visos šios kombinacijos, tradiciškai pažymėkime Σ^* .

Tarkime, kad galioja du fonotaktiniai suvaržymai. Pirmasis suvaržymas, A^{24} , yra paprasta harmonija, neleidžianti kartu žodyje pasitaikyti balsiams /i/ ir /u/. Antrasis suvaržymas, B, draudžia žodžiui baigtis priebalsiu /m/.

25 paveiksle suvaržymų A ir B draudžiamas fonemų sekas apima spalvoti erdvės plotai, o likusiuose baltuose plotuose lieka fonotaktiškai priimtinos sekos.

²⁴ Žymėjimas raidėmis A ir B *nesusijęs* su harmonijos glosomis iš 2 skyriaus.



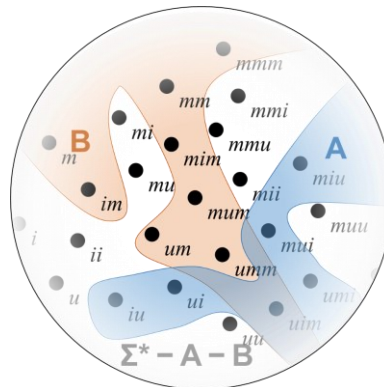
25 paveikslas. Fonotaktiniai suvaržymai A ir B kaip erdvės plotai, išimami iš visų įmanomų fonemų sekų erdvės Σ^* .

Dabar XYZ efektas formuluotinas taip: jei sekas XY, YZ ir XZ atitinkantys taškai yra baltame plote, tada XYZ irgi yra baltame plote.

Jei būtume jau parodę, kad XYZ efektas galioja baltam erdvės plotui $\Sigma^* - A$ („ Σ^* minus A“) bei kitam baltam plotui $\Sigma^* - B$, ar galėtume taip pat teigti, kad jis galioja tam baltam plotui, kuris jiems bendras, $\Sigma^* - A - B$ (26 paveikslas)?

Įsitikinkime, kad taip ir yra. Mintyse parinkime tris atsitiktinius taškus iš ploto $\Sigma^* - A - B$, atitinkančius sekas XY, YZ, XZ. Kur bus ketvirtasis taškas XYZ? Atrodo galimos trys baigtys:

- 1) plote A,
- 2) plote B,
- 3) plote $\Sigma^* - A - B$.



26 paveikslas. Fonotaktinių suvaržymų A ir B sąveika.

Kaip parodyti, kad (1) ir (2) iš tiesų yra *neįmanomos* baigtys? Pastebėkime, kad pradžioje jau priėmėme kaip prielaidą tai, jog XYZ efektas galioja su fonotaktiniu suvaržymu A. Šį suvaržymą atitinka du plotai A (fonotaktiškai nepriimtinių taškų) ir $\Sigma^* - A$ (priimtinių taškų).

Kaip minėjome, šįkart parinkome tris taškus XY, YZ, XZ iš ploto $\Sigma^* - A - B$. Šis plotas yra smulkesnė dalis ploto $\Sigma^* - A$, todėl visi taškai, kurie yra plote $\Sigma^* - A$, yra ir mūsų nagrinėjamame

$\Sigma^* - A - B$. Kitaip sakant, tarti, kad parinkome tris taškus XY, YZ, XZ iš ploto $\Sigma^* - A - B$, tuo pačiu reiškia ir tarti, kad parinkome juos iš $\Sigma^* - A$.

Dabar tampa akivaizdu, kad XYZ tikrai nėra plote A: atgaminkime, kad XYZ efektas jau pagal mūsų prielaidą galioja suvaržymui A. Tai reiškia, kad taškai XY, YZ, XZ negali kartu egzistuoti plote $\Sigma^* - A$ „neįsitraukdami“ į jį kartu su savimi ir taško XYZ.

(1) baigtį galima atmesti, o paskui tą pačią argumentuotą pakartoti su suvaržymu B bei jį atitinkančiais plotais B ir $\Sigma^* - B$. Taip atmesime ir (2) baigtį.

Lieka, kad XYZ yra plote $\Sigma^* - A - B$. Kadangi XY, YZ ir XZ parinkome visiškai atsitiktinai, be jokių papildomų prielaidų apie juos, galime teigti taip:

- Tarkime, kad taškai XY, YZ ir XZ negali kartu egzistuoti plote $\Sigma^* - A$ be taško XYZ.
- Dar tarkime, kad taškai XY, YZ ir XZ negali kartu egzistuoti plote $\Sigma^* - B$ be taško XYZ.
- Reiškia, kad taškai XY, YZ ir XZ negali kartu egzistuoti plote $\Sigma^* - A - B$ be taško XYZ.

Panaikindami erdvinę metaforą, perfrazuojame:

- Tarkime, kad fonemų sekos XY, YZ ir XZ negali kartu paisyti fonotaktinio suvaržymo **A**, nebent jo tuo pačiu paiso ir seka XYZ.
- Dar tarkime, kad fonemų sekos XY, YZ ir XZ negali kartu paisyti fonotaktinio suvaržymo **B**, nebent jo tuo pačiu paiso ir seka XYZ.
- Reiškia, kad fonemų sekos XY, YZ ir XZ negali kartu paisyti **jungtinio** fonotaktinio suvaržymo „**A ir B**“, nebent jo tuo pačiu paiso ir seka XYZ.

Galutinė ir svarbiausia parafrazė bus tokia:

- Tarkime, kad XYZ efektas galioja izoliuotam fonotaktiniam suvaržymui A.
- Dar tarkime, kad XYZ efektas galioja izoliuotam fonotaktiniam suvaržymui B.
- Reiškia, XYZ efektas galioja fonotaktinių suvaržymų A ir B bendram poveikiui.

4. Fonotaktikos išmokimo algoritmas

4.1. Bendri faktai apie mašininį mokymąsi

Mašininis mokymas (angl. *machine learning*) klasifikuojamas kaip dirbtinio intelekto tyrimų ir taikymų sritis. Šioje srityje gerai žinoma Tomo Mitchello formuluotė apie tai, kada kompiuterinė programa laikytina besimokančia: „a computer program is said to **learn** from experience E with respect to some class of tasks T and performance measure P , if its performance at tasks in T , as measured by P , improves with experience E “²⁵ (Mitchell, 1997: 2).

Su informatika nesusijusiems skaitytojams taip pat gali būti pravartu panagrinėti ryšį tarp mašininio mokymosi ir programavimo. Iš praktinės pusės ši skirtumą išryškina faktas, kad žmonės, pradėję mokytis programuoti pagal tradicinę šios srities pedagogiką, paprastai nekuria besimokančių programų dar sąlygiškai ilgą laiką; galime spekuliuoti, kad toks laikotarpis trunka bent vienerius metus. Istoriskai, mašininis mokymasis laikomas gan autonomišku informatikos skyriumi, kuriame aktualūs tiek įgūdžiai iš programavimo ir bendrosios informatikos, tiek ir kai kurie specifiniai įgūdžiai. Tiesa, per pastarąjį dešimtmetį, mašininiam mokymuisi pasiekus daug naujų reikšmingų rezultatų per trumpą laiką (LeCun et al., 2015), srities bendruomenėje matyti didelės pastangos padaryti mašininio mokymosi konceptus prieinamus ir pradedantiesiems programuotojams.

4.2. Svarbiausi mašininio mokymosi taksonomijos aspektai

Dažnai pabrėžiamą skirtis tarp prižiūrimojo (angl. *supervised*) ir neprižiūrimojo (angl. *unsupervised*) mašininio mokymosi (Russell ir Norvig, 2020: 653). Pagal komponentus, minimus Mitchello apibrėžtyje (4.1 skyrius), tai iš esmės yra skirtis tarp vienokios ir kitokios patirties (angl. *experience*) E .

Prižiūrimasis mokymasis reiškia, kad gaunama turtingesnė patirtis. Ši patirtis susideda iš stimulų sekos, o kiekvienas stimulus yra dvinaris – susidedantis iš užduoties atvejo *ir* teisingo sprendinio šiam atvejui. Pavyzdžiui, prižiūrimuoju būdu mokydami mašiną lietuvių kalbos rašybos, galėtume pateikti tokį stimulą, kaip <S_KURYS; Ū> – čia antrasis stimulo narys, raidė „Ū“, būtų minėtasis teisingas sprendinys. Užbaigę prižiūrimąjį mokymą, programai jau pradėdame tiekti tik vienanarius stimulus, kaip kad <STA_TELĖTI; ?>, ir tikimės, kad ši galės pati – nemačiusi jų anksčiau – atsakyti į juos teisingais sprendiniais (pastarojo pavyzdžio atveju – „B“).

Neprižiūrimasis mokymasis reiškia vienodai ribotą patirtį tiek mokymo, tiek produkavimo fazėje. Nors taip pat pateikiama stimulų seka, šie stimulai visais programos veikimo etapais tebūna

²⁵ Šio darbo autorius siūlo tokį vertimą: „sakome, kad kompiuterinė programa **mokosi** iš patirties E – tam tikros užduočių klasės T ir sėkmingumo mato P atžvilgiu – jei jos sėkmingumas atliekant užduotis iš klasės T , vertinant pagal matą P , gerėja su patirtimi E “. Žodis „mokosi“ („learn“) yra paryškintas ir originaliame tekste.

vienanariai. Bendroju atveju sukonstruoti algoritmą, galintį neprižiūrimuoju būdu išmokti atlikti kokią nors užduotį, yra sunkiau nei sukurti jo prižiūrimąjį analogą.

Kai kurių sričių mašiniame mokymesi egzistuoja būdai paversti neprižiūrimojo mokymosi atvejus į prižiūrimojo. Pavyzdžiui, GPT (angl. *Generative Pre-trained Transformer*) šeimos modeliai (Radford et al. 2018; Brown et al. 2020; OpenAI, 2023), pagarsėję savo gebėjimu stebėtinais rišliai užbaigti naudotojo(s) pradėtą tekstą²⁶, buvo apmokyti *autoregresijos* būdu. Tai reiškia tokius dvinarius stimulus, kaip <KATĖ PAGAVO ____; PELE>, kuriuose teisingas sprendinys yra teisingas „ateities prognozavimas“ – atspėjimas, kas toliau pasitaikys sekoje. Tokiems stimulams sukurti nereikalingas žmogaus įsikišimas; skirtingai, nei įprastu prižiūrimojo mokymo atveju, jie gali būti sugeneruoti automatiškai iš teksto.

Fonotaktikos mokymosi atveju *prižiūrimojo* mokymosi stimulai galėtų įgyti tokį pavidalą, kaip <SPRAIKŠLA; 98%>, kur antrasis narys būtų (pseudo)žodžio priimtimumo įvertis.

Vis dėlto, toliau susitelksime ties *neprižiūrimojo* mokymosi scenarijumi, kai mokymosi fazėje algoritmui yra pateikiami tik priimtini (pseudo)žodžiai be jokių papildomų detalių. Tai svarbu, nes toks mokymosi scenarijus yra daug panašesnis į tą, su kuriuo susiduria žmogus savo kūdikystėje. Jei iš savo aplinkos žmogus apskritai girdi fonotaktiškai nepriimtinas garsų sekas (pavyzdžiui, nepasisekus artikuliuoti sudėtingą žodį), jos nebūtinai yra palydimos kokio nors signalo apie šį nepriimtimumą.

Analogiškas pastebėjimas, tik dažniausiai formuluojamas sintaksės kontekste, figūruoja vadinamuosiuose stimulo skurdumo (angl. *poverty of the stimulus*) argumentuose už universaliosios gramatikos egzistavimą. Šio tipo argumentus kritiškai apžvelgia²⁷ ir – šiuo atveju svarbiausia – į loginius komponentus išskaido Pullumas ir Scholz (Pullum ir Scholz, 2002). Minėtoji analogija tarp žmonių patiriamo kalbos įsisavinimo scenarijaus ir neprižiūrimojo mokymo straipsnyje įvardyta kaip *positivity* komponentas.

4.3. Paskatos mašiniam fonotaktikos mokymuisi

Dabar aptarkime būtent mašininį *fonotaktikos* mokymąsi. Galime įsivaizduoti bent tris paskatas šiai veiklai:

1. **Suteikti kompiuteriui (mašinai) žinių apie fonotaktiką**, kurios gali būti naudingos įvairiuose taikymuose, tokiuose kaip šnekos atpažinimas. Galimas daiktas, kad žvelgiant iš šalies, ši atrodys akivaizdžiausia iš visų trijų paskatų. Tačiau užmojis šiuo tikslu taikyti mašininį mokymąsi yra gan nepraktiškas – pirmiausia dėl to, kad

²⁶ Labai įvairaus pobūdžio tekstą, pradėdant naujienų istorijomis (dažnai klaidingomis, bet įtikinamomis) ir baigiant klausimais iš įvairiausių dalykinių sričių, kaip kad medicinos (šiuo atveju GPT užbaigia tekstą pateikdamas atsakymą).

²⁷ Į šią kritiką pateikta keletas svarbių atsakymų (pvz. Legate ir Yang, 2002; Crain ir Pietroski, 2002); jiems buvo skirtas visa žurnalo *The Linguistic Review* 19 tomo 1–2 dalis.

fonotaktika, ko gero, niekada nesusideda iš didelio skaičiaus suvaržymų. (Čia, pavyzdžiui, skirtingų konstrukcijų skaičius vidutinėje gramatikoje būtų nepalyginamai didesnis.) Dėl šios priežasties fonotaktikos dėsningumus lengviau yra tiesiog suprogramuoti rankiniu būdu.

2. **Tyrėjams patiems įgyti naujų žinių apie fonotaktiką.** Jokio žmogaus fonotaktikos žinios nėra atskleistos visiškai išsamiai – daugumoje fonotaktikos eksperimentų viso labo tikrinamos hipotezės, išgautos introspekcijos būdu. Tačiau Hayeso ir Wilsono fonotaktikos išmokimo algoritmas (Hayes ir Wilson, 2008) parodė, kad algoritmiškai atkartodami šio dalyko išmokimą, galime atrasti ir iki tol neapsvarstytų fonotaktinių suvaržymų, galimai funkcionuojančių kurioje nors kalboje (minėtojo tyrimo atveju – anglų; Hayes ir White, 2013). Svarbu tai, kad tinkamai struktūruotuose mokymosi algoritmuose galima labai paprastai peržiūrėti visas išmoktas hipotezes apie fonotaktiką – tokie algoritmai laikomi interpretuojamo (angl. *interpretable*) arba paaiškinamo (angl. *explainable*) dirbtinio intelekto atvejais. Darbo rašymo metu ši tema yra tapusi srities aktualija, nes yra sukuriama daug besimokančių algoritmų, kurie yra efektyvūs, bet sunkiai interpretuojami.
3. **Įsitikinti, kad tam tikra mokymosi strategija yra teoriškai įmanoma.** Tikėtina, kad lingvistus daugiausia domins žmonių pasitelkiamos kalbos įgijimo²⁸ strategijos, tačiau gera pradžia diskusijoms apie šias strategijas yra apskritai įsitikinti jų loginiu neprieštarinumu. Tam tinka mašininiai modeliai, rezultatų perkeliamumo prasme šiek tiek primenantys gyvūnų modelius farmacijoje ir fiziologijoje. Šiame darbe daugiausia apeliuosime į būtent šią paskatą.

4.4. Fonotaktikos mašininio mokymosi istorija

Žinomiausias iš ankstyvųjų besimokančių algoritmų, skirtas būtent fonotaktikai, yra minėtasis Bruce'o Hayeso ir Colino Wilsono logaritminis-tiesinis (angl. *log-linear*) modelis, paremtas optimalumo teorija (Hayes ir Wilson, 2008). Vėliau Maria Gouskova ir Gillian Gallagher papildė šį modelį gebėjimu išmokti išskirti *projekcijas* (Gouskova ir Gallagher, 2020).

Projekcijos terminu vadinamas dalies (pseudo)žodžio segmentų nukopijavimas į atskirą *sluoksnį* (angl. *tier*; plg. vartoseną autosegmentinėje fonologijoje, 3.7 skyrius). Pavyzdžiui, galime įsivaizduoti slovėnų kalbos žodžio /zidaʃ/ ‚(tu) statai‘ (žr. 2.7 skyrių) projekciją /zɔʃ/, kurioje paliekami tik harmonijai relevantiški segmentai. Išmokti išskirti projekcijas reiškia atrasti, kokius

²⁸ Turint omenyje žmones, čia ir visur kitur šiame skyriuje kalbama tik apie gimtosios kalbos fonotaktikos įgijimą. Dėl šios priežasties *įgijimo* arba *įsisavinimo* terminas yra tinkamesnis už *mokymosi*, bet gali būti, kad vietomis nuo šios konvencijos bus nukrypta dėl to, kad mašinių atveju (iš tradicijos) visada kalbama tik apie *mokymąsi*.

segmentus verta nukopijuoti į atskirą sluoksnį. Sąveikaujančių segmentų nukopijavimas į atskirą sluoksnį leidžia tarytum selektyviai kreipti dėmesį į šiuos segmentus. Taip išvengiama poreikio masiškai tikrinti kiekvieną fonemų inventoriaus poaibį su lūkesčiu, kad būtent tame poaibyje gali pasireikšti sąveika; tarkime, sąveika tarp harmonizuojančių ir blokuojančių harmonijos elementų.

Prieš pasirodant Gouskovos ir Gallagher algoritmui, projekcijų taikymas jau buvo ženkliai išpopuliarėjęs kitoje fonotaktikos mokymosi tradicijoje, vadinamojoje subreguliariojoje programoje. Čia sukurtas jau anksčiau minėtas (M)TSL (angl. *(multiple) tier-based strictly local*) aibių formalizmas (Heinz et al., 2011). Įvairiems jo variantams, aiškiai charakterizuojantiems potencialiai išmokstamų fonotaktikos sistemų visumą, sukurti keli mokymosi algoritmai (Jardine ir Heinz, 2016; Jardine ir McMullin, 2017; McMullin et al., 2019).

4.5. Siūlomas fonotaktikos išmokimo algoritmas

Kaip šio darbo dalis taip pat buvo sukurtas fonotaktikos išmokimo algoritmas, realizuotas *Python* programavimo kalba ir prieinamas *PyPI* indekse²⁹. Čia aptarsime tik bendrąsias šio algoritmo idėjas; realizacijos detales praleisime.

Tai yra neprižiūrimojo mokymosi algoritmas. Mokymosi fazėje jam tereikia (ir tegalima) pateikti tik fonotaktiškai taisyklingas žodžių formas.

Esminė jo veikimo prielaida yra tai, ką galima pavadinti *rekombinavimo bazėmis*³⁰. Kiekviena fonotaktiškai taisyklingų (pseudo)žodžių imtis S turės ją atitinkančią rekombinavimo bazę B . Ši bazė irgi yra (pseudo)žodžių rinkinys; jam taikomi trys reikalavimai:

- 1) pakartotinai taikant XYZ efektą su bazėje B esančiais (pseudo)žodžiais turi būti galima sukurti bent jau³¹ visus (pseudo)žodžius iš imties S ,
- 2) bazėje B turi būti tik trumpi (pseudo)žodžiai – juos gali sudaryti nuo 2 iki 4 segmentų (šį ilgių intervalą galima patikslinti kaskart paleidžiant algoritmą),
- 3) iš visų numanomų bazių, kurios tenkintų (1) ir (2) reikalavimus, reikalinga būtent minimali (mažiausia įmanoma) bazė.

Turėdami rekombinavimo bazę B , atitinkančią imtį S , galime generalizuoti fonotaktinius vertinimus kitiems, mokymosi imtyje S nematytiems (pseudo)žodžiams. Daroma prielaida, kad pasirinkus minimalią bazę (3 reikalavimas) generalizacija išeis geriausia. Tai – minimalaus aprašo ilgio prielaida (angl. *minimum description length*, MDL). Iš preliminaraus testavimo (žr. 4.6 skyrių) panašu, kad ši prielaida bent iš dalies pasiteisina.

²⁹ <https://pypi.org/project/recombinant/>

³⁰ Sąvokos parinkimas įkvėptas analogijos su vektorių bazėmis (sąvoka iš analizinės geometrijos).

³¹ Kitaip tariant, gali būti galima sukurti ir (pseudo)žodžius, kurių imtyje S nėra.

1 pavyzdys. Mokymosi fazėje algoritmas supažindinamas su fonotaktiškai priimtinių žodžių imtimi $S_1 = \{/aaaaa/, /aaaaaaaaa/\}$. Jis suformuoja rekombinavimo bazę $B_1 = \{/aa/\}$, turinčią tik vieną elementą. Ši bazė tenkina (1) reikalavimą; pavyzdžiui, pirmąjį imties žodį $/aaaaa/$ iš šios bazės galima išvesti tokiais dviem žingsniais:

1. Pasirenkame $X = /a/, Y = /a/, Z = /a/$; šį pasirinkimą atitinkančios rekombinavimo įvestys $XY = XZ = YZ = /aa/$ jau yra bazėje. Išvedame $XYZ = /aaa/$.
2. Pasirenkame $X = /a/, Y = /a/, Z = /aa/$; šį pasirinkimą atitinkanti rekombinavimo įvestis $XY = /aa/$ jau yra bazėje, o $XZ = YZ = /aaa/$ jau esame išvedę 1 žingsniu. Išvedame $XYZ = /aaaa/$.
3. Pasirenkame $X = /a/, Y = /a/, Z = /aaa/$; šį pasirinkimą atitinkanti rekombinavimo įvestis $XY = /aa/$ jau yra bazėje, o $XZ = YZ = /aaaa/$ jau esame išvedę 2 žingsniu. Išvedame $XYZ = /aaaaa/$.

Ilgesne, bet analogiška žingsnių seka galima išvesti ir antrąjį imties žodį $/aaaaaaaaa/$. Bazė B_2 tenkina ir (2) reikalavimą: jos elementai $/aa/$ ir $/aaa/$ yra iš 2 ir 3 segmentų, atitinkamai. Neabejotinai ši bazė yra ir minimali (3 reikalavimas), nes pašalinus vienintelį jos elementą nebebūtų įmanoma išvesti nieko.

Svarbu, kad iš bazės B_1 galima generuoti ir visus kitus žodžius, kurie susideda iš bet kiek kartų³² pakartoto segmento $/a/$. Tokiu būdu algoritmas, parinkdamas visus reikalavimus atitinkančią bazę, iš esmės atliko generalizaciją iš imties $S_1 = \{/aaaaa/, /aaaaaaaaa/\}$ į begalinę aibę $\{/aa/, /aaa/, /aaaa/, /aaaaa/, /aaaaaa/, \dots\}$.

2 pavyzdys. Mokymosi fazėje algoritmas supažindinamas su imtimi $S_2 = \{/CVCV/, /NVCV/, /VV/, /CVVCV/, /VCVCV/, /VCVVCVCV/\}$. Jis suformuoja rekombinavimo bazę $B_2 = \{/CVCV/, /VV/, /VCV/, /CV/\}$. Ji atitinka (1, 2, 3) reikalavimus; be to, jos pagalba yra tinkamai generalizuojamas suvaržymas, kad skiemuo turi būti (C)V struktūros.

**

Nepaisant šių pavyzdžių, svarbu, kad fonotaktikos dėsningumas – net ir toks, kuriam šiaip jau galioja XYZ efektas – nebūtinai turės rekombinavimo bazę. Pavyzdžiui, rekombinavimo bazių neturi kiekybiniai suvaržymai (žr. 3.5 skyrių). Pasitelkiant čia siūlomą algoritmą, šių suvaržymų išmukti nepavyktų.

³² Tiksliau, bent du kartus.

4.6. Algoritmo testavimas

Algoritmas, pristatytas 4.5 skyriuje, preliminariai buvo ištestuotas su trimis dirbtiniais duomenų rinkiniais. Pirmasis jų įkūnija (C)V skiemens struktūros suvaržymą, antrasis imituoja navahų kalbos priebalsių harmoniją (2.5 skyrius), trečiasis – slovėnų kalbos priebalsių harmoniją (2.7 skyrius). Kiekvienas dirbtinis duomenų rinkinys reprezentuoja tik vieną fonotaktikos suvaržymą; jokių sąveikų tarp suvaržymų nėra.

Tikslingai buvo pasirinktas labai mažas segmentų inventorių – 4 skirtingi segmentai. Tai užtikrina, kad net ir mažos mokymosi imtys (pasirinkta $N = 30$) bus apytikriai pakankamos.

Svarbu, kad šios testavimo procedūros tikslas yra tik konkretesniais pavyzdžiais pristatyti algoritmo koncepciją ir labai preliminariai pagrįsti jos validumą. Kiekybinės testavimo baigtys (trukmė ir tikslumas) neturėtų būti esmingai interpretuojamos.

Testavimo atvejai ir rezultatai pateikti 1 lentelėje. Kiekvienu atveju įvykdyta mokymosi ir vertinimo (produkavimo) fazė. Vertinimo fazėje algoritmui pateikti tik tokie pseudožodžiai, kurių nebuvo mokymosi fazėje.

Testuojant su kitomis duomenų imtimis, nei pateikta šioje lentelėje, gauta ir gana ryškiai varijuojančių kiekybinių baigčių. Tai pirmiausia byloja, kad mūsų šįkart pasirinktos smulkios duomenų imtys nėra visiškai pakankamos, pavyzdžiui, norint lyginti šį algoritmą su kitais. Vis dėlto, maži duomenys nepamainomi būtent tam tikslui, kuriuo vykdėme testavimą – koncepcijos iliustravimui.

Kitos paskirties testavimas paliekamas tolimesniems darbams.

Testas	(C)V skiemenys	Navahų tipas	Slovėnų tipas
Segmentų inventoriųs	m, l, i, u	s, š, ž, a	s, š, t, a
Mokymosi fazė			
Mokymosi imtis (N = 30)	iilu, imili, iulu, iulumu, iuulu, liluli, limi, liu, liuliu, lu, lui, luliili, lului, lululu, lumimi, lumuli, luu, mi, miluii, milulu, mimimuu, miuu, mu, mulii, mumi, mumu, uli, umili, umililu, umu	aa, aaasss, aaažžž, aassa, aaf, aafžž, as, asa, aššaža, ašššaž, ašššžžž, ašššžžž, ažžžž, sa, saa, sass, ss, ssa, ssas, ša, šaaaa, šafža, šafžžžžž, šš, ššafžžžž, šž, žafž, žš, žž, žžž	aats, aafša, as, asattfat, ataa, att, atš, afa, afaat, afššš, sastaat, ss, sss, st, stšššaf, stšššaf, tat, ts, tsa, tstššš, tšš, tššš, šaaaaš, šafat, šš, ššššš, ššššš, šššššš, šššššš
Mokymosi trukmė	12 s	15 s	18 s
Išmokta rekombinavimo bazė	ii, iilu, ili, ilu, imi, iu, iulu, iumu, li, lil, lili, limi, liu, lu, lui, lul, luli, lulu, lumi, lumu, luu, mi, mii, mil, mili, mim, mimi, miuu, mu, mul, muli, mumi, mumu, ui, uili, uli, ulu, umi, umu, uu, uulu	aa, aaf, aaz, as, asa, af, až, sa, ss, ssas, ša, šafž, šš, žž, ža, žafž, žš, žž, žžž	aa, aaat, aat, aats, aaf, aafša, as, at, ataa, att, atts, atš, afša, afš, sa, ss, sss, st, stšš, sššš, taat, tat, taf, ts, tsa, tt, tšš, tš, tšša, tššš, tššš, ša, šafš, šaf, šafš, šš, ššš, ššša, ššš, šššš, ššššš, ššš, ššššš, šššššš
Vertinimo fazė			
Priimtinos sekos, teisingai atpažintos kaip priimtinos	muliu, milumiu, miumimu, miui, ili, iluli, limiu, mulu, miu, milumi, uili, li, ii	sas, aass, sssaaa, ssssa, sasas, šššža, aaaaa, ažša, ažš, až, šaf, žaaa, ašššššš, žžžž, žafž	ššš, ššššššš, ššššššš, šaf, tššš, tšššššš, šššššš, tšša, šššššš
Nepriimtinos sekos, teisingai atpažintos kaip nepriimtinos	*milmm, *lumlm, *lmlimuu, *imiumumim, *uulmuuim, *mmluuum, *lmmlliluui, *ilmim, *iiimm, *uuumlumm, *imiimlilm, *lmlmii, *iiimm, *um, *uum	*šafšššššš, *šžš, *ššš, *šžš, *šafšš, *aasžšafš, *ššššš, *šžš, *šž, *ššššš, *šžšš, *šššššš, *šafššššš, *šž, *šafššššš	*afšššššš, *šššššš, *ššššššš, *šššššššš, *ššš, *ššššššš, *šššššš, *ššššššš, *ššššššš, *šššššššš, *ššššššššš, *šššššššššš
Priimtinos sekos, klaidingai priskirtos nepriimtinioms	miimumu, imimuli	—	ššššššš, šššššš, šššššš, šššššš, šššššš
Nepriimtinos sekos, klaidingai priskirtos priimtinioms	—	—	*šššššš
Tikslumas (angl. <i>accuracy</i>)	93%	100%	77%

1 lentelė. Rekombinavimo bazėmis paremto algoritmo testavimo atvejai ir baigtys

Išvados

Šiame darbe buvo pasiūlyta nauja fonotaktikos universalija – XYZ efektas. 1.8 skyriuje įvedus rekombinavimo bazių sąvoką, parodyta, kad dalimi atvejų jis gali tarnauti kaip visavertis fonotaktikos modelis. Turint tai omenyje, XYZ efekto universalumas buvo tikrinamas dalimi tų pačių duomenų, kuriais literatūroje tikrinami ir panašios prigimties fonotaktikos modeliai. Tai – kelių kalbų balsių ir priebalsių harmonijos sistemos (eilės tvarka: navahų, slovėnų, jaka, njangbo) bei bendrieji faktai apie bigramų, trigramų ir kitokius dažnus suvaržymų tipus, iliustruojami lietuvių ir kai kurių kitų kalbų pavyzdžiais.

Tikrinimo baigtis iš esmės yra palanki – XYZ efektą preliminariai galima laikyti universaliu. Vis dėlto, turėtina omenyje, kad (1) egzistuoja ir daugiau standartinių duomenų, su kuriais literatūroje yra konfrontuojami fonotaktikos modeliai, (2) jaka kalbos priebalsių harmonija pagal nosinumą yra galimas kontrpavyzdys XYZ efektui, tačiau tai priklauso nuo vieno konkretaus pasirinkimo atliekant paradigmą fonemų atpažinimą šioje kalboje ir, galiausiai, (3) reikalingas paprastas XYZ efekto patikslinimas, kad Y fragmentą turi sudaryti bent 2 fonemos.

XYZ efektas buvo išbandytas ir kaip teoriškai įmanoma fonotaktikos įsisavinimo prielaida. Sujungus (1) šį efektą, (2) rekombinavimo bazių sąvoką ir (3) minimalaus aprašo ilgio prielaidą (angl. *minimum description length*, MDL) buvo sukonstruotas fonotaktikos išmokimo algoritmas, kuris preliminariai atrodo pajėgus įsisavinti paprastus lokalius ir tolimuosius fonotaktikos suvaržymus.

Tolimesniam XYZ efekto tyrinėjimui pagrindą galėtų teikti (1) detalesnė kontrpavyzdžių paieška, (2) įmanomų paralelių ieškojimas morfotaktikoje ir sintaksėje, (3) XYZ efekto atmainos, skirtos fonologiniams procesams (sinchroninėms kaitoms ir diachroniniams kitimams), išbandymas, (4) mėginimai redukuoti XYZ efektą iki bendresnių kognityvinių principų bei (5) rekombinavimo bazę atspėjančio algoritmo tobulinimas.

Santrauka

Šiame darbe siūloma nauja fonologinė universalija – XYZ efektas. Šis efektas susijęs pirmiausia su fonotaktiniu (pseudo)žodžių priimtinumu. XYZ efektas konkrečioje kalboje (kalbinėje atmainoje) laikomas galiojančiu, jei parinkę bet kokius tris žodžius su pavidalu XY, YZ, XZ (pvz. *nepyk*, *pykšt* ir *nešt* lietuvių kalboje) gauname, kad (pseudo)žodis XYZ (šiuo atveju °*nepykšt*) būtinai bus fonotaktiškai priimtinas – tai reiškia, kad tai bus arba realus žodis, arba pseudožodis, kuris vien pagal savo skambesį galėtų funkcionuoti kaip žodis toje kalboje. Vietoje žodžių XY, YZ, XZ galima parinkti ir fonotaktiškai priimtinus pseudožodžius.

Darbo tikslas – patikrinti XYZ efekto universalumą. Šiuo tikslu XYZ efektas tikrinamas su įprastais lokalsios fonotaktikos reiškiniais bei su harmonijos sistemomis iš navahų, slovėnų, jaka ir njangbo kalbų. Prieiga prie šių reiškinų šio darbo sumetimais vyksta per gramatikose ir straipsniuose pateikiamus aprašus.

Tikrinimo baigtis yra iš esmės palanki – XYZ efektą preliminariai galima laikyti universaliu. Sutvirtinti šiai išvadai pravartu būtų tikrinti efektą ir su kitais duomenų rinkiniais, su kuriais įprastai tikrinami fonotaktikos modeliai. Tiesa, turėtina omenyje, kad vienu iš įmanomų būdų interpretuojant jaka kalbos priebalsių harmonijos duomenis, XYZ efektui galima sukonstruoti kontrpavyzdį.

Papildomai šiame darbe siūlomas fonotaktikos išmokimo algoritmas, paremtas XYZ efektu ir keliomis kitomis minimaliomis prielaidomis. Pirmieji jo testavimo etapai taip pat yra palankūs, tačiau nuodugnesnei jo tinkamumo analizei būtų reikalingas papildomas tyrimas.

Summary

In the present thesis, we present a novel phonological universal, which we name the XYZ effect. The effect in question is foremostly related to the phonotactic well-formedness of words and pseudo-words. In any specific language variety, the XYZ effect is said to hold, if sampling any set of three words with the shape $\{XY, YZ, XZ\}$ implies the well-formedness of the (pseudo-)word XYZ. For instance, in English, the set of words $\{XY, YZ, XZ\} = \{\textit{smell}, \textit{mellow}, \textit{sow (the verb)}\}$ can be hereby “recombined” into $XYZ = \textcircled{\textit{smellow}}$. The words in the set $\{XY, YZ, XZ\}$ need not be meaningful; they can also be well-formed pseudo-words.

The goal of the thesis is to verify the cross-linguistic universality of the XYZ effect. To this end, we test it against various typical phenomena of local phonotactics and against the harmony systems in Navajo, Slovenian, Yaka, and Nyangbo. To serve as the only proxy for these phenomena, we use their descriptions in grammars and articles.

The outcome of our verification is mostly favorable: the XYZ effect can be preliminarily considered to be universal. To corroborate this conclusion, it would serve well to verify the effect against more data sets that are encountered in the verification of other models of phonotactics. However, it must be noted that one of the ways of interpreting the Yaka data already leads to a counterexample for the XYZ effect.

Additionally, we construct an algorithm for the learning of phonotactics, based on the XYZ effect and several other minimal assumptions. Some early tests of this algorithm have also been favorable, but a more exhaustive analysis of its inductive capacity would require an additional study.

Literatūra

- Aksēnova, A., Graf, T., & Moradi, S. (2016). Morphotactics as tier-based strictly local dependencies. In *Proceedings of the 14th SIGMORPHON workshop on computational research in phonetics, phonology, and morphology*, 121-130.
- Aksēnova, A., Rawski, J., Graf, T., & Heinz, J. (2020). The Computational Power of Harmony. *Oxford Handbook of Vowel Harmony*, Oxford University Press, under review.
- Aksēnova, A., & De Santo, A. (2021). Learning Interactions of Local and Non-Local Phonotactic Constraints from Positive Input.
- Auziņa, I., Brenķe, I., Grigorjevs, J., Indričāne, I., Ivulāne, B., Kalnača, A., ... & Vulāne, A. (2013). *Latviešu valodas gramatika*. LU Latviešu valodas institūts.
- Benus, S., & Gafos, A. I. (2007). Articulatory characteristics of Hungarian ‘transparent’ vowels. *Journal of Phonetics*, 35(3), 271-300.
- Breiss, C. (2020). Constraint cumulativity in phonotactics: evidence from artificial grammar learning studies. *Phonology*, 37(4), 551-576.
- Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, 33, 1877-1901.
- Burness, P. A. & McMullin, K. J. & Chandlee, J., (2021) “Long-distance phonological processes as tier-based strictly local functions”, *Glossa: a journal of general linguistics* 6(1): 99.
- Chaberek, G. K. (1993). Analysis of vowel harmony in Latvian.
- Chambers, K. E., Onishi, K. H., & Fisher, C. (2003). Infants learn phonotactic regularities from brief auditory experience. *Cognition*, 87(2), B69-B77.
- Chandlee, J., & Koirala, C. (2014). Learning local phonological processes. *University of Pennsylvania Working Papers in Linguistics*, 20(1), 5.
- Chomsky, N. (1956). Three models for the description of language. *IRE Transactions on information theory*, 2(3), 113-124.
- Chomsky, N., & Halle, M. (1968). The sound pattern of English.
- Clements, G. N. (1990). The role of the sonority cycle in core syllabification. *Papers in laboratory phonology*, 1, 283-333.
- Crain, S., & Pietroski, P. (2002). Why language acquisition is a snap. *The linguistic review*, 19(1-2), 163-183.
- Endzelīns, J. (1951). *Latviešu valodas gramatika*. Latvijas valsts izdevniecība.
- Edlefsen, M., Leeman, D., Myers, N., Smith, N., Visscher, M., & Wellcome, D. (2008). Deciding strictly local (SL) languages. In *Proceedings of the midstates conference for undergraduate research in computer science and mathematics* (Vol. 6, pp. 6-75). Wooster College.
- Fudge, E. C. (1967). The nature of phonological primes. *Journal of Linguistics*, 3(1), 1-36.
- Girdenis, A. (1962). Balsių asimiliacijos reiškiniai Tirkšlių tarmėje. *Kalbotyra*, 4.
- Girdenis, A. (2003). *Teoriniai lietuvių fonologijos pagrindai*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas.
- Goldsmith, J. (1976). *Autosegmental phonology* (Doctoral dissertation, MIT Press).
- Golla, V. (2011). *California Indian Languages*. Univ of California Press.

- Gouskova, M., & Gallagher, G. (2020). Inducing nonlocal constraints from baseline phonotactics. *Natural Language & Linguistic Theory*, 38(1), 77-116.
- Graf, T. (2019). A subregular bound on the complexity of lexical quantifiers. In *Proceedings of the 22nd Amsterdam colloquium*.
- Hale, M., & Reiss, C. (2000). “Substance abuse” and “dysfunctionalism”: Current trends in phonology. *Linguistic inquiry*, 31(1), 157-169.
- Hansson, G. Ó. (2010a). *Consonant harmony: long-distance interaction in phonology*. University of California Press, Berkeley, CA.
- Hansson, G. Ó. (2010b). Long-distance voicing assimilation in Berber: spreading and/or agreement? In Heijl, M., editor, *Actes du Congrès de l'ACL 2010 / 2010 CLA Conference Proceedings*. Canadian Linguistic Association.
- Harris, Z. S. (2013). *Papers in structural and transformational linguistics*. Springer.
- Hayes, B., & White, J. (2013). Phonological naturalness and phonotactic learning. *Linguistic inquiry*, 44(1), 45-75.
- Hayes, B., & Wilson, C. (2008). A maximum entropy model of phonotactics and phonotactic learning. *Linguistic inquiry*, 39(3), 379-440.
- Heinz, J. (2010). Learning long-distance phonotactics. *Linguistic Inquiry*, 41(4), 623-661.
- Heinz, J. (2007). *Inductive learning of phonotactic patterns*. University of California, Los Angeles.
- Heinz, J., Rawal, C., & Tanner, H. G. (2011). Tier-based strictly local constraints for phonology. In *Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human language technologies* (pp. 58-64).
- Hebert, R. and Poppe, N. (1963). *Kirghiz manual*. Uralic and Altaic Series 33. Indiana University Publications, Bloomington.
- Hyman, L. M. (1995). Nasal consonant harmony at a distance the case of Yaka. *Studies in African Linguistics*, 24(1), 6-30.
- Jardine, A., & Heinz, J. (2016). Learning tier-based strictly 2-local languages. *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, 4, 87-98.
- Jardine, A., & McMullin, K. (2017, March). Efficient learning of tier-based strictly k-local languages. In *International conference on language and automata theory and applications* (pp. 64-76). Springer, Cham.
- Johnson, C. D. (1972). *Formal aspects of phonological description*. De Gruyter Mouton.
- Jurjec, P. (2011). Feature spreading 2.0: A unified theory of assimilation.
- Kenstowicz, M. J. (1994). *Phonology in generative grammar* (Vol. 7). Cambridge, MA: Blackwell.
- Kaplan, R. M., & Kay, M. (1994). Regular models of phonological rule systems. *Computational linguistics*, 20(3), 331-378.
- Kaun, A. R. (1995). The typology of rounding harmony: an optimality theoretic approach. PhD thesis, UCLA.
- Kreidler, C. W. (2008). *The pronunciation of English: A course book*. John Wiley & Sons.
- Lambert, D., & Rogers, J. (2020, January). Tier-based strictly local stringsets: Perspectives from model and automata theory. In *Proceedings of the Society for Computation in Linguistics 2020* (pp. 159-166).
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444.

- Legate, J. A., & Yang, C. D. (2002). Empirical re-assessment of stimulus poverty arguments. *The Linguistic Review*, 19(1-2), 151-162.
- Lema, J. (1978). *An examination of vowel epenthesis in Spanish* (Doctoral dissertation, Arts and Social Sciences: Department of Languages, Literatures and Linguistics).
- McCarthy, J. J., & Prince, A. (1996). Prosodic morphology 1986.
- McCollum, A. G., Baković, E., Mai, A., & Meinhardt, E. (2020). Unbounded circumambient patterns in segmental phonology. *Phonology*, 37(2), 215-255.
- McMullin, K., Aksēnova, A., & De Santo, A. (2019). Learning phonotactic restrictions on multiple tiers. *Proceedings of the Society for Computation in Linguistics*, 2(1), 377-378.
- McNaughton, R., & Papert, S. A. (1971). *Counter-Free Automata* (MIT research monograph no. 65). The MIT Press.
- Menz, A., & Monastyrsev, V. (1998). Yakut. In *The Turkic Languages* (pp. 444-459). Routledge.
- Mester, R. A. (1994). The quantitative trochee in Latin. *Natural Language & linguistic theory*, 12(1), 1-61.
- Mitchell, T. M., & Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning* (Vol. 1, No. 9). New York: McGraw-hill.
- Ní Chiosáin, M., & Padgett, J. (2001). Markedness, segment realization, and locality in spreading. *Segmental phonology in Optimality Theory: Constraints and representations*, 118-156.
- OpenAI. (2023). GPT-4 technical report. arXiv:2303.08774 [cs.CL]
- Padgett, J. E. (1991). *Stricture in feature geometry*. University of Massachusetts Amherst.
- Paster, M. (2019). Phonology counts. *Radical: A Journal of Phonology*, 1, 1-61.
- Prince, A. S. (1980). A metrical theory for Estonian quantity. *Linguistic inquiry*, 511-562.
- Prince, A. S., & Smolensky, P. (1991, April). Optimality. In *Arizona phonology conference* (Vol. 4).
- Pullum, G. K., & Scholz, B. C. (2002). Empirical assessment of stimulus poverty arguments. *The linguistic review*, 19(1-2), 9-50.
- Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D., & Sutskever, I. (2019). Language models are unsupervised multitask learners. *OpenAI blog*, 1(8), 9.
- Rogers, J., & Pullum, G. K. (2011). Aural pattern recognition experiments and the subregular hierarchy. *Journal of Logic, Language and Information*, 20(3), 329-342.
- Rose, S., & Walker, R. (2011). Harmony systems. *The handbook of phonological theory*, 2, 240-290.
- Rudaitis, I. (2021). Formaliju MTSL_k kalbų algoritminis išmokimas. *Bakaluro darbas*.
- Rudaitis, I. (2022). The XYZ effect in phonotactics. Rankraštis, lingbuzz/006298.
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: a modern approach*.
- Sagey, E. C. (1986). *The representation of features and relations in non-linear phonology* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Skousen, R. (1973). Finnish vowel harmony: rules and conditions. In *Issues in Phonological Theory: Proceedings of the Urbana Conference on Phonology* (pp. 118-129).
- Sokols, Ē. (red.). (1959). *Mūsdienu latviešu literārās valodas gramatika*. 1. sējums: Fonētika un morfoloģija. Rīga: LPSR ZAI.
- Suomi, K., Toivanen, J., & Ylitalo, R. (2008). Finnish sound structure. *Studia humaniora ouluensia*, 9.

- Ulvydas, K. (red.). (1965). *Lietuvių kalbos gramatika*. 1 tomas. Leidykla „Mintis“.
- van der Hulst, H., & Smith, N. (1987). Vowel harmony in Khalkha and Buriat (East Mongolian). *Linguistics in the Netherlands, 1987*, 81-89.
- Vu, M. H., Shafiei, N., & Graf, T. (2019). Case assignment in TSL syntax: A case study. In *Proceedings of the Society for Computation in Linguistics (SCiL) 2019*, 267-276.
- Walker, R. (2000). Yaka nasal harmony: Spreading or segmental correspondence?. In *Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society* (Vol. 26, No. 1, pp. 321-332).