

**VIDZEMES AUGSTSKOLA
INŽENIERZINĀTŅU FAKULTĀTE**

Madara Prata (Pratt)

**TEHNOLOĢISKAIS RISINĀJUMS KOMUNIKĀCIJAI
ATTĀLINĀTĀ DARBA VIDĒ MOTIVĀCIJAS UN
APMIERINĀTĪBAS VEICINĀŠANAI**

PROMOCIJAS DARBS

Inženierzinātņu un tehnoloģiju doktora (Ph.D) zinātniskā grāda iegūšanai elektrotehnikas,
elektronikas, informācijas un komunikāciju tehnoloģiju apakšnozarē sistēmu analīze,
modelēšana un projektēšana

Promocijas darba zinātniskais vadītājs
Prof., Dr.paed. Sarma Cakula

Valmiera, 2021

Promocijas darbs izstrādāts:

Vidzemes Augstskola

Inženierzinātņu fakultāte

Doktora studiju programmā “Sociotehnisko sistēmu modelēšana”

Zinātniskais vadītājs:

Sarma Čakula

Profesore, Dr.paed.

Vidzemes Augstskola

Konsultants:

Nazim Taskin

Asociētais profesors, Dr. sc. ing.

Bogazici Universitāte

Pateicības

Šī disertācija aptver vairākas jomas un tās tapšana nebūtu iedomājama bez dažādu ekspertu atbalsta, iedvesmas un padomiem brīžos, kad tas bija tik ļoti nepieciešams. Vislielāko pateicību vēlos izteikt sava darba vadītājai Prof. Sarmai Cakulai – par iedrošinājumu uzsākt doktorantūras studijas un par atbalstu katrā disertācijas izstrādes solī. Ar kopīgu darbu un neizsīkstošu atbalstu bija iespējams izveidot un publicēt zinātniskos rakstus, apmeklēt konferences, piedalīties projektos un visbeidzot uzrakstīt promocijas darbu. Liels paldies konsultantam un otram darba vadītājam Dr.Nazimam Taskinam par nebeidzamo motivācijas un atbalsta sniegšanu. No sirds vēlos pateikties saviem darba vadītājiem par ticību man un manām spējām.

Paldies Dr. Mohcinem Boudhanem par garajiem vakariem, kopīgi veidojot algoritmu. Paldies arī par pacietību, apmācot mani šajā sarežģītajā jomā. Pateicos Mārim Meļņikovam par manas vīzijas uzklauššanu un tās īstenošanu, kopīgi radot *Comets* komunikāciju sistēmu. Pateicos projekta ARTSS, Nr.VPP-COVID-2020/1-009 vadītājiem un dalībniekiem par kopīgo darbu un zinātnisko pieredzi.

Liels paldies arī Vidzemes Augstskolas un Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas personālam un kolēģiem par klātesamību, padomu sniegšanu un uzklauššanu vienmēr, kad tas bija nepieciešams. Tāpat arī paldies par iespēju piedalīties projektā SAM Nr.8.2.2.0/18/A/012 un gūt akadēmisko pieredzi.

Visbeidzot, vēlos pateikties savai ģimenei un draugiem, kuri mani atbalstīja no pirmās dienas un svinēja ar mani visas manas mazās uzvaras, kā arī bija līdzās grūtībās garajā disertācijas tapšanas periodā. Vismilzīgākais paldies vīram un meitai par neizsīkstošu pacietību, sapratni un atbalstu.

SATURS

Anotācija.....	6
Annotation	7
Ievads.....	8
1. Efektīva darbinieku komunikācija attālinātā darbā, izmantojot tehnoloģijas.....	19
1.1 Tehnoloģijas darba komunikācijā	20
1.1.1 Efektīvas komunikācijas priekšizpēte.....	21
1.1.2 Tehnoloģiju iedalījums pēc translētās ziņas veida un piesātinājuma	24
1.1.3 Tehnoloģiju radītā ietekme uz darbiniekiem un tā sekas.....	25
1.2 Darbinieku apmierinātība un motivācija attālināta darba apstākļos.....	28
1.2.1 Tehnoloģiju izmantošanas ietekme un virtuālās komandas.....	29
1.2.1.1 Komunikāciju tehnoloģiju lietotāju kultūras atšķirību ietekme	31
1.2.1.2 Komunikācijas struktūra darbinieku vidē.....	32
1.2.1.3 Motivācija attālināta darba apstākļos un saziņā, izmantojot tehnoloģiju	33
1.2.1.4 Esošo komunikācijas un darbinieku iesaistes tehnoloģisko sistēmu	
analīze	35
1.2.1.5 Autora izstrādāts teorētiskais modelis un ontoloģija komunikācijai,	
izmantojot tehnoloģiskos rīkus	39
1.3 Lielo datu un mašīnmācīšanās algoritmu izmantošana darbinieku uzvedības	
novērtēšanai.....	42
2. Sociotehniskas sistēmas un uzņēmuma modelēšanas metode	50
2.1 Sociotehnisku sistēmu būtība un raksturojums	51
2.2 Modelēšanas būtība un uzņēmuma modelēšanas metode (EM).....	54
2.3 4EM modelēšanas metode.....	57
2.4 ARTSS metode.....	60
2.5 Digitālie dvīņi.....	62
3. 4EM Modelis drošai un efektīvai komunikāciju sistēmai attālināta darba apstākļos ...	66
3.1 Tehnisko komponentu un prasību modelis.....	70
3.2 Tehnisko komponentu un prasību modeļa elementu apraksti	73
3.3 Digitālais dvīnis efektīvas un drošas darba vietas modelim	77
3.4 Digitālā dvīņa pielietojums un eksperiments	82
3.5 Praktiskas vadlīnijas drošu un noturīgu servisu nodrošināšanai attālinātā darba	
vietā	86
4. Mašīnmācīšanās algoritms darbinieku motivācijas un ilgnoturības mērīšanai un	
prognozēšanai	89
4.1 Ievades dati motivācijas mērīšanai.....	89
4.2 Datu apstrāde ar mašīnmācīšanās algoritmiem un iegūto rezultātu testēšana.....	93
4.2.1 Datu modelēšanas process	93
4.2.2 Datu apstrāde	94
4.2.3 Datu testēšana un prognožu izdarīšana.....	96
4.3 Datu apstrāde ar paplašinātu datu kopu.....	99
4.3.1 Datu priekšapstrāde un korelācijas analīze.....	102

4.3.2	Precizitātes rādītāji un dažādu algoritmu rezultātu salīdzinājums.....	104
4.3.3	Teorētiskais pamats modeļa konfigurēšanai	108
4.3.4	Uz prognozēm balstīts piedāvātais modelis.....	109
4.3.5	Algoritma pielietošana.....	112
4.3.6	Modeļa konfigurācija.....	113
4.3.7	Izlasses meža algoritma rezultātu interpretācija.....	116
5.	Komunikācijas tehnoloģijas sistēma Comets.....	119
5.1	Inženiertehniskā risinājuma apraksts	120
5.2	Tehnoloģiju sistēmas funkcionalitāte.....	122
5.3	Sistēmas drošības aspekti	125
	Secinājumi	127
	Nobeigums.....	131
	Literatūra.....	132

ANOTĀCIJA

Mūsdienu straujajā darba ritmā – īpaši attālināta darba apstākļos un tehnoloģiju attīstības ātrumā – bieži tiek ignorēti darbinieku motivācijas faktori, kuri pazemina darbinieku apmierinātības līmeni un paaugstina kadru mainību. Nozīmīgs motivāciju ietekmējošais faktors ir komunikācija uzņēmuma iekšienē. Tehnoloģijas var palīdzēt šo problēmu risināšanā, uzlabojot komunikāciju starp vadību un darbiniekiem, tādējādi samazinot kadru mainību uzņēmumā. Pētījuma mērķis ir izstrādāt tehnoloģisku risinājumu efektīvai komunikācijai darba vidē, ietverot lietotāju motivāciju un apmierinātību. Pielietojot uzņēmuma modelēšanas metodes, izstrādāts modelis, kurš ietver mērķus, spējas un konteksta elementus drošai un efektīvai komunikācijas sistēmai darbam attālināti. Izmantojot *4EM* metodi, aprakstīti iesaistītie faktori un mērāmie lielumi. Motivācijas un apmierinātības līmeņa mērīšanai ir izstrādāts algoritms, izmantojot mašīnmācīšanos, ar spēju ne tikai noteikt esošo motivācijas līmeni, bet arī paredzēt darbinieku vēlmi palikt vai aiziet no organizācijas. Šī pētījuma dažādie elementi – uzņēmuma modelēšana, statistiskā analīze, digitālā dvīņa pielietojums un mašīnmācīšanās – apvienoti tehnoloģiju sistēmā *Comets*. Šīs tehnoloģiskās sistēmas mērķis ir veicināt motivējošu darba vidi tiešsaistē (t.i., attālināto darbu).

ANNOTATION

In today's fast pace of work - especially the conditions of remote work and the speed of technological development - the factors of employee motivation are often ignored, which lower employee satisfaction levels and increase employee turnover. The communication within the company is an important factor affecting employee motivation. Technology can help solve these problems by improving communication between management and employees, reducing employee turnover in the company. The aim of the research is the development of technological solutions for effective work communication in the work environment, including user motivation and satisfaction. With the application of enterprise modeling methods, the model was created including objectives, capabilities, and contextual elements for a secure and efficient communication system for remote work. The model was developed using the *4EM* method to identify the involved factors and measurable attributes. An algorithm for measuring employee motivation and satisfaction levels has been created. It not only determines employee level of motivation, but also predicts employees' willingness to stay in or leave organizations using a machine learning algorithm. The different elements of this research – enterprise modeling, statistical analysis, use of digital twin, machine learning – have been integrated in the technology system Comets. The aim of this communications system is to promote an efficient, safe, and motivating work environment online (i.e., remote work).

IEVADS

Pasaule piedzīvo pieaugošu globalizāciju. Jaunā ekonomika un e-komercija veido pilnīgi jaunu darba vidi. Saziņa un liela daļa komunikācijas notiek, izmantojot tehnoloģijas. Ir mainījušies saziņas veidi un arī darba vide. Jaunais modernizētais darba formāts sniedz daudzas priekšrocības un ieguvumus: uz tehnoloģijām balstīta komunikācija ļauj pārvarēt laiku un attālumu starp cilvēkiem. Daudzi uzņēmumi ir izstrādājuši virtuālas komandas ar dalībniekiem dažādās laika joslās, valstīs un pat kontinentos. Tehnoloģijas aizvien tiek attīstītas un piedāvā aizvien plašākas un vispusīgākas iespējas.

Globālā pandēmija, kas sākās 2019. gadā, aizsāka nozīmīgu laiku informācijas tehnoloģiju jomā, kad darba pienākumu veikšana, pakalpojumu saņemšana un savstarpējā komunikācija kļuva vistiešākā veidā atkarīga no informācijas un komunikācijas tehnoloģijām (IKT). Tomēr jāatceras, ka komunikācijā, kas balstīta uz IKT izmantošanu, svarīgi ir ne tikai tehnoloģiskie aspekti, bet arī vadības un darbinieku spēja efektīvi komunicēt šādā veidā.

Ne visiem cilvēkiem ir dabas dots talants izmantot dažādus komunikācijas veidus un to darīt efektīvi. Lielākā daļa cilvēku saziņas notiek neverbālā līmenī, līdz ar to komunikācija, izmantojot tehnoloģiskos līdzekļus, nav tik efektīva kā tikšanās dzīvē.

Komunicējot tiešaistē, cilvēku spējai pielāgoties un adaptēties ir īpaši kritiska nozīme. Izmantojot IKT, komunikācija ir daudzpusīga. Turklāt ne visa komunikācija ir nododama verbāli. Jāņem vērā arī tas, ka komunikācija notiek arī neverbāli un šos papildus neverbālos signālus ne vienmēr var pārraidīt, izmantojot IKT.

Tika paredzēts, ka valstis un uzņēmumi nākotnē konkurēs gan ar savu tehnoloģiju iespējām, gan ar cilvēkresursu kvalitāti (Thurow, 1992). Šajā jaunajā kontekstā motivēts darbaspēks ir norādīts kā konkurētspējīgā priekšrocības pazīme (Steers et al., 2014). Šobrīd nav pietiekami izpētīts, kā šos divus jēdzienus apvienot – tehnoloģija un cilvēkresursi, kā saglabāt darbinieku apmierinātību un motivāciju, kamēr uzņēmums cenšas būt konkurētspējīgs tehnoloģijās.

Tradicionālās attiecības starp darba devēju un darbinieku acīmredzami ir mainījušās, taču nav skaidras izpratnes par to aizstāšanu. Trūkst jaunu modeļu, kas noteiktu vadītāja uzvedību jaunajā darba laikmetā. Steers et al., (2014) uzskata, ka ir pienācis laiks novirzīt intelektuālo enerģiju jaunu modeļu atklāšanā un pētījumos par jauniem darba motivācijas un darba izpildes modeļiem (Steers et al., 2014). Barrier (2002) uzsver, ka uzņēmumi nevar turpināt akli pieņemt un ieviest komponentus informācijas sistēmās, neizpētot atsevišķo komponentu efektivitāti, spējas un piemērotību; šīs sistēmas ir jāpārvalda (Barrier, 2002).

Lai gan uzvedības un sociālie zinātnieki vēsturiski ir veikuši daudz pētījumus par cilvēku uzvedību, tehnoloģiju izstrādātāji un zinātnieki tos reti izmantojuši (Kraut, 2003). 2004. gadā Čikāgā notikušajā konferencē par datorizētu kooperatīvo darbu tika apspriesta tēma par grupas un organizācijas teorijas iekļaušanu Datoratbalstītā Sadarbībā (*CSCW - Computer Supported Cooperative Work*) (Barley et al., 2004). No diskusijām ir skaidrs, ka *CSCW* sabiedrībai būtu jāpieņem stingrāka virzība uz sociālo zinātņu disciplīnām (Ghaoui, 2006). Cilvēka un datora mijiedarbība (*HCI – Human-computer interaction*) ir disciplīna, kas koncentrējas uz interaktīvu skaitļošanas sistēmu ieviešanu cilvēku lietošanai sociālajā kontekstā un šo sistēmu projektēšanu un novērtēšanu (Ghaoui, 2006). *HCI* pētījumiem jācenšas uzlabot mūsu izpratni par tehnoloģijām un to izraisītajām sekām, lai atklātu, kā datori (vai datoru lietošana) ietekmē cilvēku produktivitāti, apmierinātību ar darbu, saziņu ar citiem cilvēkiem un viņu dzīves vispārējo kvalitāti (Helander, 2014). Nepieciešama padziļināta izpratne par mijiedarbību starp tehnoloģijām no vienas puses un sarežģīto sociālo, politisko un motivācijas dinamiku no otras, lai efektīvāk atbalstītu lietotājus, grupas vai organizācijas (Wallace et al., 2017). Brīdī, kad organizācijā komunikācija pāriet no saziņas dzīvē uz tehnoloģiskajiem līdzekļiem, rodas jauns izaicinājumu komplekss.

Tusubira et al. (2004) min izpratnes trūkumu, domāšanas veidu un uzņēmuma augstākās vadības neiesaistīšanos kā galvenos šķēršļus veiksmīgai tehnoloģiju izmantošanai uzņēmumu komunikācijā un iesaka sistemātiskāk ieviest informācijas un komunikācijas tehnoloģijas uzņēmumos (Tusubira et al., 2004). Šos faktoros izmainīt īsā laikā ir sarežģīti, īpaši krīzes apstākļos, tādēļ autore iesaka tos iekļaut komunikācijas sistēmās jau šo sistēmu veidošanas brīdī.

Digitālā revolūcija izvirza jaunus tehniskos priekšnosacījumus sociotehniskajai mijiedarbībai un tās rezultātā ir daudz lielāka nenoteiktība. Sociāli tehniskā sistēma nav statiska, bet gan pastāvīgi attīstās kā ārējo ietekmju rezultātā, tā arī uzņēmuma iekšējā pilnveidošanas darba rezultātā (Haga, 2019). Zinātnieki izaicina līdzšinējās sociotehnisko sistēmu pieejas un diskutē, vai esošās metodes ir atbilstošas šobrīd notiekošajai digitālajai revolūcijai (Brynjolfsson et al., 2014; Haga, 2019). Esošie organizāciju izstrādes ietvari nepietiekami risina jauno realitāti, kurā būtu jāietver gan tehniskie, gan sociālie elementi no visas ekosistēmas (Winby et al., 2018). Pēdējos gados ir pieaugusi interese par sarežģītām sistēmām, kurās ir iesaistīti gan cilvēki, gan datori. Ir svarīgi izprast informācijas tehnoloģiju ietekmi uz cilvēkiem organizācijās (Girchenko et al., 2021).

Organizācijas var izmantot tehnoloģijas lēmumu pieņemšanai dažādās jomās. Mākslīgais intelekts ir viena no inovatīvākajām tehnoloģijām, ko plaši izmanto, lai palīdzētu

organizācijām biznesa stratēģijās, organizatoriskos aspektos un cilvēku vadībā (Fallucchi et al., 2020). Šādu pētījumu un analīžu mērķis ir atbalstīt lēmumus, kuru pamatā ir nevis subjektīvi aspekti, bet gan objektīva datu analīze. Mašīnmācīšanās tiek izmantota, lai veiksmīgi prognozētu dažādus aspektus, piemēram, kadru mainību (Alaskar et al., 2019; Bhuvu et al., 2018; Chanda et al., 2020; Fallucchi et al., 2020). Pēc autores domām, mašīnmācīšanās jomai ir potenciāls risināt jaunās digitalizētās darba vides izaicinājumus un atbalstīt organizāciju vadītājus lēmumu pieņemšanā.

Sistēmu veidotājiem aktuālas ir kļuvušas tēmas par darbinieku monitorēšanu un novērtēšanu attālināta darba kontekstā (Sharma et al., 2020; Hanna et al., 2020). Šī pētījuma fokuss ir uz organizāciju darbinieku un vadības efektīvu komunikāciju attālinātā darbā, izmantojot tehnoloģijas. Šobrīd nav pieejama viena ideālā sistēma, lai savienotu visus faktorus, kuri lielākoties atrodami atsevišķi dažādās platformās – efektīvas komunikācijas funkcionalitāti, darbinieku motivāciju, regulāru darbinieku motivācijas un apmierinātības izvērtēšanu, analīzi, socializēšanās iespējas, ērtu administrēšanu un augstākā līmeņa drošības aspektu. Ir pieprasījums pēc šādas sistēmas, kura apkopo dažādas šķautnes un ietver gan funkcionalitāti, gan rūpes par darbinieku apmierinātību, iesaisti un produktivitāti. Motivācija kā koncepts netiek pieminēta sistēmu piedāvājumos. Pašreiz vistuvāk vēlamajai funkcionalitātei ir *Slack* un *Microsoft Teams*. Aktuāls un vērtīgs rīks ir *Peero (Peero.app)*, kas būtībā nodrošina pozitīvu atgriezenisko saiti ikdienā, izmantojot organizācijas vērtības. Tiek ģenerēti dati, kas mēra darbinieku aktivitāti (līdz ar to var noteikt iesaistes līmeni dažādos departamentos) un vienotības indeksu jeb to, cik vienots ir kolektīvs savā sadarbībā starpdepartamentu robežās (Peero, 2021).

Šīs disertācijas rezultātā ir izveidota tehnoloģiju sistēma *Comets*, kura nodrošina efektīvu un drošu komunikāciju un tajā pašā laikā ietver arī rīku darbinieku motivācijas un apmierinātības mērīšanai. Šāda sistēma un komponentos ietvertie sociotehniskie modeļi atbild uz zinātnieku pieprasījumu pēc jauniem modeļiem un tehnoloģijas, kurā ietvertas zināšanas no starpdisciplināriem pētījumiem (Barley et al., 2004; Barrier, 2002; Ghaoui, 2006; Girchenko et al., 2021; Kraut, 2003; Winby et al., 2018). Šī pētījuma un sistēmas aktualitāte ir īpaši nozīmīga, kopš attālināts darbs ir kļuvis par daļu no organizācijas ikdienas līdz ar globālās pandēmijas aizsākšanos.

Problēma

Mūsdienu straujajā tehnoloģiju attīstības tempā – īpaši attālinātā darba apstākļos, bieži tiek ignorēti uzņēmuma darbinieku motivācijas un apmierinātības faktori, kas paaugstina kadru

mainību. Tehnoloģijas var palīdzēt šo problēmu risināšanā, uzlabojot komunikāciju starp vadību un darbiniekiem, tādējādi samazinot kadru mainību uzņēmumā.

Tehnoloģijas dod mums iespējas analizēt datus ar milzīgu precizitāti un paredzēt darbinieku uzvedību. Mūsdienu tehnoloģiskās iespējas var izmantot ne tikai tehniskajiem uzlabojumiem, bet arī cilvēkresursu veiksmīgākai vadībai. Šī darba ietvaros tiks piedāvāti risinājumi ar mērķi nodrošināt tehnoloģiju veidotājus ar attiecīgām zināšanām, veiksmīgākiem tehnoloģiskiem risinājumiem un radīt tehnoloģijas, kuras ir vairāk noderīgas uzņēmuma iekšējai komunikācijai un pilnīgāk atbalsta uzņēmumu vadītāju spēju efektīvi komunicēt. Radītie modeļi un apraksti ir pielāgoti tā, lai būtu saprotami gan IT speciālistiem, gan uzņēmumu vadītājiem, apvienojot šīs abas šķietami tālās, bet mūsdienās tik ļoti satuvinātās pasaules.

Pētījuma objekts

Informācijas sistēmu analīze, modelēšana un projektēšana efektīvai komunikācijai darba vietā.

Pētījuma mērķis

Izstrādāt tehnoloģisku risinājumu efektīvai komunikācijai darba vidē, ietverot lietotāju motivāciju un apmierinātību.

Izveidotā modeļa apakšmērķis ir radīt drošu un efektīvu uzņēmuma komunikācijas atbalsta sistēmu, kurā iekļauti faktori efektīvai un drošai komunikācijai darbam attālināti, kā arī radīt šādas komunikācijas tehnoloģiju prototipu. Modelis sevī ietver mērķus, iespējas un konteksta elementus drošai un efektīvai komunikācijas sistēmai darbam attālināti. Modelis izstrādāts, izmantojot *4EM* (For Enterprise Modeling) un *ARTSS* (Advanced Resilience Technologies for Secure Service) metodes, aprakstot iesaistītos faktoros un mērāmos rādītājus. Tālāk ir izveidota komunikācijas sistēma *Comets*, kura veicinās efektīvu, drošu un motivējošu uzņēmuma iekšējo komunikāciju tiešsaistes jeb attālinātā darba nodrošināšanai. Motivācijas un apmierinātības līmeņa mērīšanai ir izstrādāts algoritms, kas dod iespēju ne tikai noteikt esošo motivācijas līmeni, bet arī paredzēt darbinieku tālākos nodomus palikt vai aiziet no organizācijas. Komunikācijas efektivitāte ir atkarīga ne tikai no izmantotās komunikāciju sistēmas (t.i., IKT), bet arī no vadītāju kompetences. Tāpēc tālāk ir izstrādāti ieteikumi uzņēmumu vadītājiem iekšējās komunikācijas efektivitātes pilnveidei, balstoties uz mašīnmācīšanās algoritma darbības rezultātiem.

Pētījuma jautājums

Kāds mūsdienīgs tehnoloģiskais risinājums nodrošina efektīvu uzņēmuma iekšējo komunikāciju, palielinot darbinieku apmierinātību un motivāciju?

Uzdevumi

1. Izstrādāt efektīvas uzņēmuma iekšējās komunikācijas teorētisko modeli un tā būtiskākos ietekmējošos faktorus ar ietekmi uz komunikācijas kvalitāti, motivāciju, apmierinātību un kadru mainību.
2. Izpētīt esošos komunikācijas nodrošināšanas tehnoloģiskos risinājumus un mašīnmācīšanās algoritmu pielietojumu uzņēmumu iekšējās komunikācijas uzlabošanai.
3. Izveidot drošu attālinātās darba vietas modeli, kurā iekļautie faktori nodrošinātu efektīvu un drošu komunikāciju darbam attālināti.
4. Iegūt un analizēt empīriskos datus konceptuālā modeļa un vājo komunikācijas mezglu mašīnmācīšanās algoritma izstrādei, lai noteiktu darbinieku motivāciju un kadru mainības prognozi.
5. Izstrādāt vājo komunikācijas mezglu mašīnmācīšanās algoritmu uzņēmuma darbinieku uzvedības prognozēšanai, to trenēt un testēt.
6. Izstrādāt mūsdienu prasībām atbilstošu tehnoloģisku risinājumu – sistēmas prototipu – darbinieku iekšējai komunikācijai ar mērķi uzlabot komunikācijas efektivitāti un darbinieku motivāciju, apmierinātību, lai mazinātu vēlmi aiziet no uzņēmuma.

Metodes

- Literatūras analīze un esošo tehnoloģisko iespēju apzināšana konceptuālā modeļa izstrādei.
- Datu ieguves metodes – anketas izstrāde, datu ievākšana, administratīvo dokumentu analīze.
- Statistiskās metodes datu analīzes veikšanai, datu priekšapstrāde un analīze.
- Datu klasifikācija iekšējās darba vides un darbinieku uzvedības likumsakarību izpētei.
- *4EM* modelēšana efektīvas un drošas komunikāciju sistēmas modeļa izveidei.
- Mašīnmācīšanās algoritma modelēšana un trenēšana uzņēmuma darbinieku motivācijas un kadru mainības novērtēšanai un prognozēšanai.
- Tehnoloģiska modeļa sistēmas verifikācija un validācija praktiskās darbības izvērtēšanai.

Novitāte

1. Izstrādāta ontoloģija un konceptuāls modelis uzņēmuma iekšējai komunikācijai, izmantojot tehnoloģiskos risinājumus un rīkus. Tā izstrāde balstās uz līdzšinējiem zinātniskiem pētījumiem un noteikto nepieciešamību pēc jauniem konceptuāliem modeļiem. Izveidotais modelis ir unikāls ar to, ka ietver arī sociālo zinātņu pētījumus par tehnoloģijām piesātinātās darba vides ietekmi uz uzņēmuma darbiniekiem un iekšējo komunikāciju.
2. Izstrādāts drošas un efektīvas komunikāciju sistēmas *4EM* modelis uzņēmuma iekšējai komunikācijai, iekļaujot būtiskākos faktoros attālinātam darbam.
3. Ir izstrādāts modelis iekšējai komunikācijai darbam attālināti, izmantojot Izlases meža algoritmu. Šajā kontekstā algoritma uzdevums ir izvērtēt iekšējās komunikācijas efektivitāti ar augstāku precizitāti un veidot prognozes par kadru mainību vai citiem faktoriem, balstoties uz vēsturiskiem datiem.
4. Izlases meža algoritms ticis veiksmīgi validēts un testēts, demonstrējot šī algoritma plašāku pielietojamību un papildinot zinātnisko literatūru par algoritmu izmantošanu.
5. Izstrādāts tehnoloģiskas sistēmas modelis uzņēmuma iekšējai komunikācijai, balstoties uz zinātniskās literatūras izpēti un empīriskos datu apstrādes rezultātiem, *4EM* modeli uzskaitītiem faktoriem un izstrādāto mašīnmācīšanās algoritmu. Esošās tehnoloģiskās sistēmas iekļauj nozīmīgas funkcijas, bet neiekļauj zinātnisko pētījumu rekomendācijas tik pilnīgi kā šī darba ietvaros izstrādātā sistēma.

Pētījumā izvirzītās tēzes

1. Ar mašīnmācīšanās algoritma palīdzību ir iespējams noteikt, kādi faktori uzņēmuma iekšējā vidē ir problemātiski, kādas ir stiprās puses un kā ar augstu precizitāti prognozēt iespējamo darbinieku aiziešanu no uzņēmuma.
2. Digitalizētais *4EM* modelis var tikt izmantots, lai modelētu drošu un efektīvu uzņēmuma iekšējo komunikāciju, strādājot attālināti.
3. Tehnoloģiskie komunikācijas rīki iekšējai komunikācijai spēj nodrošināt darbinieku motivāciju un apmierinātību, veicinot darbinieku vēlmi palikt darba vietā.

Pētījuma bāze

Empīriskos datu avoti

1. Autores ievākti dati no tiešsaistes aptaujas 2019. gadā – 102 respondenti, 26 tautības, vecumā no 19 līdz 63 gadiem, 93 Likerta 10 punktu skalas jautājumi. Motivācija tiek mērīta ar 59 jautājumiem, kas ņemti no Smereka un Petersona (2006) anketas, un tika pielāgoti šai aptaujai (Ahmed et al., 2017; Smerek et al., 2006).

2. Izmantots *Kaggle* repozitorijs ar “IBM HR Analytics Employee Attrition Performance” 2017. gada datu kopu – 1470 darbinieki vecumā no 18 līdz 60 gadiem, 35 apskatītie faktori (Kaggle, 2017).

Darba struktūra:

Promocijas darbs sastāv no ievada, 5 nodaļām, secinājumiem, nobeiguma, izmantotās literatūras un avotu saraksta. Promocijas darba pamatteksts ir 146 lappuses, 54 attēli, 5 formulas un 13 tabulas. Bibliogrāfiskajā sarakstā ir 149 informācijas avoti.

Pirmajā nodaļā dots teorētiskais izvērtējums efektīvai komunikācijai attālināta darba apstākļos.

Nodaļā iztirzātas galvenās teorijas par darbinieku motivēšanu, virtuālo komandu vadību un attālinātu darbu izmantojot informāciju un komunikāciju sistēmas. Prezentēts autores izstrādāts teorētiskais konceptuālais modelis IKT izmantošanai motivācijas un apmierinātības veicināšanai, un modeļa izstrādes ontoloģija. Nodaļas beigās aprakstīti esošie IKT risinājumi uzņēmuma iekšējai komunikācijai un mašīnmācīšanās līdzšinējie pētījumi līdzīgu problēmu risināšanai.

Otrajā nodaļā aplūkota sociotehnisko sistēmu būtība, kā arī uzņēmumu modelēšanas un 4EM metodes.

Tiek izskatīta sociotehnisko sistēmu attīstība un ietvertie jēdzieni, īpaši uzsverot sociotehnisko sistēmu iespējas uzņēmējdarbības problēmu risināšanā. Tiek apskatīta uzņēmējdarbības modelēšana, 4EM metodes pielietošanas iespējas un digitālā dvīņa pielietojums.

Trešajā nodaļā aprakstīta tehnoloģisko risinājumu pielāgošana attālinātā darba komunikācijas sistēmai.

Nodaļas ietvaros tiek aprakstīts autores izstrādāts 4EM modelis efektīvai un drošai komunikāciju sistēmai, kas ir digitalizēts ar digitālā dvīņa ieviešanu.

Ceturtajā nodaļā aplūktas mašīnmācīšanās algoritmu pielietošanas iespējas un datu analīze.

Motivācijas un apmierinātības veicināšanai ir izstrādāts mašīnmācīšanās algoritma modelis, kas izvērtē tehnoloģijas lietotāju – darbinieku motivācijas un apmierinātības rādītājus un sniedz vadlīnijas uzņēmumu vadītājiem. Šis mašīnmācīšanās algoritms tālāk tiek integrēts tehnoloģiskajā efektīvas un drošas komunikācijas risinājuma sistēmā *Comets*.

Piektajā nodaļā aprakstīta tehnoloģiju sistēma *Comets*.

Promociju darba pētījumi un radītie risinājumi apkopoti tehnoloģiju sistēmā *Comets*. Šīs nodaļas ietvaros aprakstīta šī pētījuma sinerģija un mijiedarbība tehnoloģiskajā risinājumā.

Piedāvāts iepazīties ar tehnoloģiju sistēmas tehnisko aprakstu, funkcionalitāti un drošības aspektiem.

Promocijas darba struktūra vizualizēta ceļa kartē, kas pievienota 1.pielikumā.

Lai atbildētu uz pētījuma jautājumiem, darba izstrādes gaita sadalīta 5 etapos. Pētījuma sākumā tiek veikta literatūras analīze un problēmas identificēšana. Tā rezultātā izveidots konceptuālais modelis un ontoloģija IKT izmantošanas ietekmei uz motivāciju un apmierinātību. Šī ir pirmā pētījuma daļa un tās rezultāti ir trešās tēzes apstiprinājums. Literatūras izpētes rezultāti, datu analīze un ekspertu zināšanas izmantotas *4EM* modeļa izveidē, pielietojot *ARTSS* metodiku. Šis posms ir otrās tēzes pamatojums un rezultātā izveidots *4EM* modelis, kurš validēts, izmantojot digitālo dvīni. *4EM* modeļa elements “Darbinieku motivācija un apmierinātība” ir promocijas darba mērķa sasniegšanas un pētījuma jautājuma atbildēšanas būtiskākais faktors. Lai sasniegtu pētījuma mērķi, ir uzstādīta pirmā tēze un veiktas darbības, kuras ietver datu ieguvī un analīzi kā arī mašīnmācīšanās algoritmu izpēti, prognozēšanai piemērota algoritma izstrādi un testēšanu. Darba rezultātā ir izveidota tehnoloģiska sistēma *Comets*, iekļaujot iepriekšējos soļos veikto pētījumu rezultātus. Ar šīs sistēmas palīdzību tiek validēts *4EM* modelis un izveidotais algoritma modelis.

Darba aprobācija

Dalība projektos

1. “Vidzemes Augstskolas akadēmiskā personāla pilnveide un cilvēkresursu attīstība”, projekts Nr.8.2.2.0/18/A/012 "Izaugsme un nodarbinātība" 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa "Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās" 06.09.2019-05.09.2020.
2. Valsts pētījumu programmas "Covid-19 seku mazināšanai" Nr. VPP-COVID-2020/1-0009 “Perspektīvās tehnoloģijas noturīgiem un drošiem servisiem”. *ARTSS* – Advanced Resilience Technologies for Secure Service. 07.09.2020-20.12.2020.

Apmeklētās konferences

Kopumā apmeklētas 12 starptautiskas konferences. 9 no tām tika prezentēts šis pētījums.

1. ICAMCS - International Conference on Applied Mathematics & Computational Science, Budapest (Hungary), 06.10.2018–08.10.2018

Prezentētā publikācija: Quality of Work Relationships Using Technology Based Communication

2. EDUCON - Global Engineering Education 2019, Dubai (United Arab Emirates), 09.04.2019–11.04.2019

Prezentētā publikācija: Technology-Based Communication in the Business Company

3. SOCIETY. TECHNOLOGY. SOLUTIONS, Valmiera (Latvia), 25.04.2019–26.04.2019

Prezentētā publikācija: The Impact of Using Technology-based Communication on Quality of Work Relationships

4. INAIT International Conference on Industry 4.0 and Artificial Intelligence Technologies, Cambridge (United Kingdom), 19.08.2019–21.08.2019

Prezentētā publikācija: Motivation in a Business Company using Technology-Based Communication

5. ICICIS, 9th International Conference on Intelligent Computing and Information Systems. Cairo (Egypt), 8.12.2019 – 10.12.2019

6. ICCI'2019, 4th International Conference for Computing and Informatics , Cairo (Egypt), 10.12.2019

7. INTED - 14th annual International Technology, Education and Development Conference, Valencia (Spain), 29.02.2020-02.03.2020

Prezentētā publikācija: The Impact Of Information And Communication Technologies (ITC) On Employees' Motivation

8. ICACIN, 1st International Conference of Advanced Computing and Informatics, Casablanca (Morocco), 13.04.2020

Prezentētā publikācija: Predictive Data Analysis Model for Employee Satisfaction Using ML Algorithms

9. ICL International Conference on Interactive Collaborative Learning, Tallin (Estonia), 23.09.2020-25.09.2020

Prezentētā publikācija: Use of AI For Improving Employee Motivation and Satisfaction

10. PoEM 2020, The Practice of Enterprise Modeling, 13th IFIP Working Conference, Riga, Latvia, 25.11.2020-27.11.2020

11. CSCI'20, The 2020 International Conference on Computational Science, Las Vegas (ASV), 15.12.2020 – 19.12.2020

Prezentētā publikācija: Application of EM for Requirements Development of an Effective and Secure Communication System in a Quarantine Situation

12. "SOCIETY. TECHNOLOGY. SECURITY", Valmiera (Latvia), 26.03.2021

Prezentēta publikācija: The Use of Big Data and Machine Learning Algorithms for Improving Employee Satisfaction and Prediction of Attrition

Zinātniskās publikācijas starptautiski citējamās datu bāzēs iekļaujamās izdevumos

1. Pauga M., S. Cakula. (2019). Technology-Based Communication in the Business Company. In IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Dubai, United Arab Emirate, (pp. 843–850). DOI: 10.1109/EDUCON.2019.8725240
2. M. Pratt, S. Cakula. (2020). THE IMPACT OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES (ICT) ON EMPLOYEES' MOTIVATION, INTED2020 Proceedings, (pp. 1581-1589). DOI:10.21125/inted.2020.0516
3. Pratt, M., & Cakula, S. (2020). The Impact of Using Technology-Based Communication on Quality of Work Relationships. *Baltic Journal of Modern Computing*, 8(1), 143-153. <https://doi.org/10.22364/bjmc.2020.8.1.07>
https://www.bjmc.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/bjmc/Contents/8_1_07_Pratt.pdf
4. Pratt, M., Boudhane, M., Cakula, S. (2020). Predictive Data Analysis Model for Employee Satisfaction Using ML Algorithms. In *Advances on Smart and Soft Computing* (pp. 143-152). Springer, Singapore. DOI:10.1007/978-981-15-6048-4_13
5. Pratt, M., Boudhane, M., Taskin, N., & Cakula, S. (2021). Use of AI for Improving Employee Motivation and Satisfaction. In *Educating Engineers for Future Industrial Revolutions: Vol II* (pp. 289-299). Springer Nature Switzerland.
6. Pratt, M., & Cakula, S. (2021). Motivation in a business company using technology- based communication. In *Artificial Intelligence in Industry 4.0. Studies in Computational Intelligence* (pp. 15–30). https://doi.org/10.1007/978-3-030-61045-6_2
7. Pratt, M., Cakula, S., Majore, G., & Buss, E. (2020, December). Development of an Effective and Secure Communication System in a Quarantine Situation. In *2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)* (pp. 131-137). IEEE.
<https://american-cse.org/sites/csci2020proc/pdfs/CSCI2020-6ScvdzjqC7bKupZxFmCoA/762400a131/762400a131.pdf>

8. Pratt, M., Boudhane M., & Cakula S. (2021). Employee Attrition Estimation Using RandomForest Algorithm. *Baltic Journal of Modern Computing*, Vol. 9 (2021), No. 1, 49-66 <https://doi.org/10.22364/bjmc.2021.9.1.04>.

https://www.bjmc.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/bjmc/Contents/9_1_04_Pratt.pdf

9. Pratt, M., & Cakula, S. (2021). The Use of Big Data and Machine Learning Algorithms for Improving Employee Satisfaction and Prediction of Attrition International Scientific Conference “SOCIETY. TECHNOLOGY. SECURITY 2021”, Valmiera. 26.03.2021 – 27.03.2021- *in review*

10. Cakula, S., & Pratt, M. (2021). Communication Technologies in a Remote Workplace. *Baltic Journal of Modern Computing*, 9(2), 210-219.

https://www.bjmc.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/projekti/bjmc/Contents/9_2_05_Cakula.pdf

1. EFEKTĪVA DARBINIEKU KOMUNIKĀCIJA ATTĀLINĀTĀ DARBĀ, IZMANTOJOT TEHNOLOĢIJAS

IKT ir tādu elektronisko ierīču kā datoru, tālruņu, interneta un satelītu sistēmu izmantošana informācijas glabāšanai, iegūšanai un izplatīšanai datu, teksta, attēla un citādos veidos (Tusubira et al., 2004). Ir vairāki IKT veidi, tostarp sensoru, sakaru, displeja, analīzes un uzglabāšanas tehnoloģijas. Komunikācijas tehnoloģijas ir aprīkojuma veidi, kas ļauj no avota pārsūtīt informāciju lietotājam, pārvarot dabiskās barjeras, piemēram, laiku un attālumu.

Pēdējo divu desmitgažu laikā IKT pieejamība ir ievērojami pieaugusi. Saskaņā ar *ITU* (Starptautiskās telekomunikāciju savienības) statistikas datiem laika posmā no 2005. līdz 2019. gadam interneta lietotāju skaits katru gadu pieaudzis vidēji par 10% (*ITU*, 2019). *ITU* dati rāda, ka 97% pasaules iedzīvotāju dzīvo mobilā signāla sasniedzamības zonā un 93% pasaules dzīvo mobilā interneta pakalpojumu diapazonā (*ITU*, 2019). Līdz 2019. gada beigām internetu izmantoja 53,6% (4,1 miljards cilvēku), kas ir par 5,3% vairāk nekā 2018. gadā (*ITU*, 2019).

Digitālo prasmju trūkums ir galvenais šķērslis interneta ieviešanai un efektīvai izmantošanai, īpaši ir nepieciešams attīstīt digitālās prasmes jaunattīstības valstīs (*ITU*, 2019). Saskaņā ar datiem visos pasaules reģionos ir mazāka iespēja, ka mājās ir dators nekā interneta savienojums (*ITU*, 2019). Arī mājsaimniecības interneta piekļuve dažādos pasaules reģionos ir atšķirīga. Attīstītajās valstīs piekļuve internetam ir 87% mājsaimniecību. Salīdzinoši zemākas attīstības valstīs tādu ir tikai 11,8% (*ITU*, 2019).

COVID-19 uzliesmojums 2020. gadā ir ievērojami mainījis *IKT* izmantošanas dinamiku. Cilvēki izmanto *IKT* darbam un izglītībai. Dažās valstīs būtisku priekšmetu un pārtikas piegāde uz mājām ir kļuvusi par nepieciešamu ikdienas sastāvdaļu (*ITU*, 2020).

Pandēmijas ietekmei un precīzai statistikai ir ierobežojumi, jo ir problemātiski noteikt, kuri interneta lietotāji to izmanto no mājām un kuri – nodarba vai skolas (*ITU*, 2020). Pēc noteikta laika var novērtēt *IKT* izmantošanas izmaiņu apjomu izolēšanās periodos 2020. gadā. Būtiskas atšķirības cilvēku kustības tendencēs ir pamanījis Google LLC (Google, 2020). Piemēram, Latvijā līdz 2020. gada jūlija beigām mobilitāte uz darbu ir samazinājusies par 32% (Google, 2020). Šīs datu izmaiņas var liecināt par to, ka palielinās vai nu darbs mājās, vai, iespējams, bijusi darba zaudēšana.

1.1 Tehnoloģijas darba komunikācijā

Tehnoloģiju ieviešana ir devusi daudz priekšrocību uzņēmumiem. Tas ļāvis darbiniekiem būt ģeogrāfiski izkliedētiem – atrasties dažādās vietās, valstīs un pat kontinentos. Darbinieki var strādāt pilnu slodzi, nepilnu slodzi un dažādas maiņas.

Datorizēts kooperatīvais darbs (*Computer Supported Cooperative Work, CSCW*) ir pētījumu joma, kurā tiek pētīta skaitļošanas un komunikācijas tehnoloģiju izmantošana, kas atbalsta grupas un organizatorisko darbību (Ghaoui, 2006). *CSCW* var apspriest četrus vispārējos līmeņos – individuāli, grupā, komandā, organizācijā un nozarē. Ģimene, nodarbošanās, tauta vai kultūra ir citi apspriestie faktori (Ghaoui, 2006).

Lai uzlabotu uzdevumu izpildi, palielinātu informācijas diapazonu un ātrumu, kā arī pārvarētu laika un telpas attālumu, daudzi uzņēmumi ir izveidojuši virtuālas komandas (McGrath et al., 1994). Virtuālo komandu papildu ieguvumi ir diskusijas, kas balstītas uz zināšanām, faktiem un uzlabotu ideju apmaiņu (Levi, 2017). Virtuālā saziņa var notikt, izmantojot tālruņa zvanus, e-pastus, tūlītējās ziņas, video tērzēšanas sarunas, videokonferences, koplietojamas ekrāna sesijas, koplietojamus failus un citus paņēmienus. Virtuālās komunikācijas pakāpi organizācijā vai komandās var apspriest trīs līmeņos – klātienē komandas, kas tiekas personīgi, zemas virtualitātes komandas, kas izmanto sinhronas, ar plašsaziņas līdzekļiem bagātas tehnoloģijas, un augsta virtuāluma komandas, kas izmanto asinhronas, plašsaziņas līdzekļiem bagātas tehnoloģijas, kā, piemēram, e-pastu (Mesmer-Magnus et al., 2011).

IKT sniegtais savienojums ir radījis 24/7 darba kultūru (Piazza, 2007). Lai arī tehnoloģiju galvenais mērķis ir uzlabot cilvēku dzīves kvalitāti, ir vairākas ieviešanas problēmas. Tusubira et al., (2004) kā galvenos ieviešanas problēmu avotus nosauc izpratnes trūkumu, domāšanas veidu un augstākā līmeņa vadības iesaistes trūkumu, tādēļ iesaka izstrādāt sistemātisku IKT ieviešanas metodi (Tusubira et al., 2004).

Šo jauno saziņas formātu izmantošana līderiem ir radījusi sarežģītas problēmas (Huang et al., 2010). Pašlaik uzsvars tiek likts uz IKT ietekmes uz konkrētām nozarēm vai organizācijām izpēti, taču trūkst pētījumu par indivīdiem vai darbiniekiem (De Wet et al., 2016). Helander (2014) norādījis, ka cilvēka un datora mijiedarbības (*HCI*) pētījumiem jācenšas saprast, kāda ir datoru lietošanas ietekme uz cilvēku produktivitāti, apmierinātību ar darbu, saziņu ar citiem cilvēkiem un dzīves vispārējo kvalitāti (Helander, 2014). Nepieciešami jauni darba motivācijas un darba izpildes modeļi (Steers et al., 2014). Šie modeļi ir nepieciešami arī sistēmu izstrādātājiem. Sociālo un uzvedības zinātņu pētnieki ir

veikuši ārkārtīgi daudz pētījumu par cilvēku uzvedību, taču sistēmu izstrādātāji tos izmantojuši reti (Kraut, 2003).

1.1.1 Efektīvas komunikācijas priekšizpēte

Pētījumā 2019.gadā tika aptaujāti 102 respondenti par komunikācijas rīkiem un programmām, kuras viņi visvairāk izmanto darba komunikācijā (Pratt et al., 2021). Šī pētījuma mērķis bija izpētīt, kā uz tehnoloģijām balstīta komunikācija ietekmē darbinieku motivāciju un apmierinātību. Saziņa var notikt, izmantojot bagātākus vidēja līmeņa kanālus, piemēram, klātienē diskusijas, videokonferences, tālruņa zvanus, un arī mazāk piesātinātus vidēja līmeņa kanālus: īsziņas, e-pastus un neadresētus dokumentus. Tika veikts literatūras apskats, pētot motivāciju un dažādus faktorus, kas to ietekmē komunikācijas kontekstā, izmantojot tehnoloģiju izstrādāto konceptuālo modeli. Aptauja tika veikta, lai izprastu tehnoloģiju ietekmi uz motivācijas faktoriem un tehnoloģiju izmantošanu kopumā. Rezultātā tika atzīta vajadzība pēc jaunām komunikācijas tehnoloģijām un uzsvērtas labas uzņēmuma pārvaldības nozīme.

Tika veikts Kolmogorov-Smirnov tests, lai noteiktu datu normālsadalījumu (tabula 1.1). Mainīgajiem “Es dodu priekšroku saziņai, izmantojot tehnoloģiju, nevis “aci pret aci””, “Es dodu priekšroku darbam grupās, nevis individuāli”, “Man patīk rakstīt garus un oficiālus ziņojumus/e-pastus”, “Man darbā pietrūkst fiziskas (klātienē) klātbūtnes”, “Mēs katru dienu rīkojam klātienē pasākumus / sanāksmes” apstiprinās normālsadalījums, kur testa vērtības nepārsniedz kritiskās robežas pie 95% ticamības.

1.1. tabula

Kolmogorov-Smirnov tests normālsadalījuma noteikšanai.

Kolmogorov-Smirnov Test	Es dodu priekšroku saziņai, izmantojot tehnoloģiju, nevis aci pret aci	Es dodu priekšroku darbam grupās, nevis individuāli	Man patīk rakstīt garus un oficiālus ziņojumus/e-pastus	Man darbā pietrūkst fiziskas (klātienē) klātbūtnes	Mēs katru dienu rīkojam klātienē (reālās dzīves)
<i>N</i>	102	102	102	102	102
<i>Normal Mean</i>	6.20	6.05	4.77	4.61	5.93
<i>Std. Deviation</i>	2.79	2.57	2.59	2.66	3.12
<i>Most extreme</i>	.11	.10	.13	.11	.13
<i>Absolute Positive</i>	.09	.10	.13	.11	.11
<i>Negative</i>	-.11	-.09	-.09	-.09	-.13
<i>Kolmogorov-Asymp. Sig, (2-</i>	1.14	1.01	1.27	1.11	1.30
	.128	.262	.061	.151	.052

No sākotnējās datu analīzes un vispārējiem aprakstošajiem pasākumiem (tabula 1.2) var secināt, ka cilvēki pozitīvi vērtē savu uz tehnoloģijām balstītās komunikācijas efektivitāti

(vidējais = 7,94). Ātrs interneta savienojums (vidējais = 8,74) un vizuālo materiālu kvalitāte (vidējais = 8,02) ir ļoti svarīgi saziņā, izmantojot tehnoloģijas. Attēlu izmantošana ir populāra papildu funkcija (vidējais = 6,21). Ir tendence uz mazāk formālu saziņu, jo ir izmantotas emocijzīmes / smaidiņi (vidējais = 5,22). Respondenti apstiprina šo apgalvojumu, jo neformālam (gadījuma rakstura) komunikācijas stilam darba komunikācijā ir augsts rādītājs (vidējais = 7,64). Garu ziņojumu un garu e-pastu rakstīšana nav priekšroka (vidējais = 4,77), kaut arī aptaujātie cilvēki ir no dažādām kultūrām. Tas parāda vispārēju tendenci lietot mazāk vārdu. Varētu spekulēt, ka jaunajā darba vidē un tehnoloģiju izmantošanā komunikācijas stils kļūst arvien neformālāks. Papildus tam daudzi respondenti izmanto tehnoloģiju neformālai saziņai ar kolēģiem (vidējais = 7,64). Cilvēkus nesatrauc klātienēs tikšanās un fiziskas klātbūtnes trūkums darbā (vidējais = 4,61).

1.2. tabula.

Vidējā aritmētiskā salīdzinājums tehnoloģiju pielietojumam darba vietās (N=102)

(Pratt, et al., 2021).

Mainīgais	Vidējais aritmētiskais	Mainīgais (lietošana)	Vidējais aritmētiskais
<i>Mana darba komunikācija notiek 100% izmantojot tehnoloģijas</i>	7.50	Dators	9.02
<i>Mans darbs, izmantojot tehnoloģiskos komunikāciju rīkus ir efektīvs</i>	7.94	Planšete	3.60
<i>Es izmantoju tehnoloģiskos komunikāciju rīkus, lai komunicētu ar saviem kolēģiem</i>	7.07	Viedtālrunis	7.56
<i>Ātra interneta pieslēgums ir svarīgs manā darbā</i>	8.74	E-pasts	8.62
<i>Augsta attēlu kvalitāte ir svarīga manā darbā</i>	8.02	Skype	5.09
<i>Es dodu priekšroku neformālam komunikācijas stilam darba komunikācijā</i>	7.64	Uzņēmuma tērēšanas lodziņš	5.61
<i>Man patīk rakstīt garus un oficiālus ziņojumus/e-pastus</i>	4.77	WhatsApp	5.71
<i>Man darbā pietrūkst fiziskas (klātienēs) klātbūtnes</i>	4.61	Telegram	4.45
		LinkedIn	4.59
		Facebook	3.63
		Tālruņa zvani	7.33
		Konferenču/video zvani	5.55
		Mākoņprogrammas (piem.,	6.24
		Video	4.04
		Attēli	6.21
		Uzlīmes (stickers)	4.25
		GIF	4.07
		Emocijzīmes/smaidīņi	5.22

Darba saziņai vispopulārākā ierīce ir dators (vidējais = 9,02). Viedtālrunu lietošanas tendence (vidējais = 7,56) ir ļoti augsta, taču planšetdators ir ļoti nepopulāra ierīce darba

saziņai (3,60). E-pasts (vidējais = 8,62) un tālruņa zvani (vidējais = 7,33) ir vispopulārākais darba saziņas līdzeklis. Uzņēmuma tērzēšanas lodziņš (čats) ir arī viens no saziņas kanāliem, ko cilvēki izmanto (vidējais = 5,61). *WhatsApp* ir vispopulārākā saziņas lietojumprogramma, taču tā joprojām tiek novērtēta zemu (vidējais = 5,61).

Sociālo mediju kanāli un lietojumprogrammas nav populāras darba saziņai starp aptaujātajiem cilvēkiem: *Linked-in* (vidējais = 4,59), *Telegram* (vidējais = 4,45) un vismazāk populārs ir *Facebook* (3,63). Šķiet, ka populāras ir mākoņprogrammas (piemēram, *Google drive*) (vidēji = 6,24). Cilvēki konferenču zvaniem (vidējais = 5,55) izmanto *Skype* (vidējais = 5,09), taču tā nav pārāk bieži izmantota saziņas metode.

Lielākā daļa respondentu savu saziņu, izmantojot uz tehnoloģijām balstītus rīkus, vērtē kā efektīvu un uzsver ātra interneta un augstas kvalitātes vizuālo datu nozīmi viņu darbā. Šie rezultāti apstiprina Kardona et al., (2015) secinājumus, ka darba vietā e-pasts joprojām ir vispopulārākais starppersonu biznesa komunikācijas veids (Cardon et al., 2015). E-pasts tik drīz nepazudīs, un tas ir komandas saziņai visbiežāk izmantotais kanāls. Viņu pētījumi parāda e-pastu nozīmi pat tiem, kas ir ieviesuši uzņēmuma sociālo tīklu platformas: 85% darbinieku turpina lietot e-pastu katru stundu, un 83,5% uzskata, ka šis saziņas rīks ir noderīgs (Cardon et al., 2015).

Šīs analīzes rezultāti liecina, ka cilvēkiem nav iebildumu strādāt, izmantojot uz tehnoloģijām balstītus saziņas rīkus, taču vispiemērotākās iespējas tam joprojām ir e-pasts un tālruņa zvani. Tas nozīmē, ka izstrādātāji nav piedāvājuši labāku risinājumu. Iesniegtās lietojumprogrammas, šķiet, nespēj nodrošināt visas nepieciešamās funkcijas, lai apmierinātu klientus. Tehnoloģiskais atbalsts darba komunikācijai nav pietiekams.

Viens no ieteikumiem vadītājiem ir mudināt darbiniekus ikdienā sazināties neformāli (Levi, 2014). Normāla prakse ir izmantot tehnoloģiju, lai stiprinātu sociālās saites starp darbiniekiem. Līderi, kas aktīvi darbojas iekšējās digitālajās platformās, parāda spēcīgākas organizācijas kultūras un veikspējas rezultātus (Cardon et al., 2019). Šo digitāli aktīvo līderu būtiska iezīme bija tā, ka viņi tika uztverti kā darbinieku uzklaušītāji šajās digitālajās platformās (Cardon et al., 2019). Ieskats Nalinas (2016) pētījumā bija nepieciešamība pēc vairāk neformālas komunikācijas, un autore ziņoja, ka 80% respondentu atbildēja, ka viņu vēlamais saziņas stils ir neformāls (Nalina, 2016).

Viena no iespējām komunicēt neformāli uzņēmuma iekšienē, izmantojot sociālos tīklus (*SNP – social networking platforms*). Ir novēroti daži *SNP* komunikācijas trūkumi organizāciju vidē. Uzņēmuma darbinieki var pārāk paļauties uz šiem rīkiem, lai gan patiesībā būtu nepieciešami bagātāki saziņas kanāli. Informāciju var sadrumstalot, kad kļūst pieejami

šie papildu saziņas kanāli, kas izraisa informācijas pārslodzi. Vēl viena problēma ir tāda, ka *SNP* izmantošana varētu izraisīt iespējamu uzmanības novēršanu no darba un pat atkarību. Tam var pietrūkt kontroles un skaidras atbildības. Šo rīku ieviešana var būt lēnāka nekā paredzēts, turklāt tā var būt arī drauds pašreizējām vadības sistēmām un struktūrām. Ne visi uzņēmuma vadītāji vēlas dzirdēt viņu darbinieku teikto. Galvenā diskusija saistībā ar sociālo tīklu/mediju rīku izmantošanu ir par to drošību.

Drošības draudu līmenis ir atkarīgs no izmantotā rīka. Uzņēmums var izmantot esošos *SNP* (kā, piemēram, uzņēmums var izvēlēties izmantot *Facebook Inc.* platformu), izmantot iekšējos *SNP*, kas īpaši izstrādāti uzņēmumu vajadzībām (piemēram, *Yammer* saturs tiek īpaši pielāgots uzņēmuma vajadzībām), vai izstrādāt savus rīkus iekšējai lietošanai. Huy et al., (2012) aprakstījuši gadījumu izpēti ar ievērojami atšķirīgiem rezultātiem. Rīka izveide var būt dārga, bet ne vienmēr tā ir visefektīvākā, ja tā netiek pareizi īstenota (Huy et al., 2012).

1.1.2 Tehnoloģiju iedalījums pēc translētās ziņas veida un piesātinājuma

Tehnoloģiju var analizēt pēc ātruma, interaktivitātes, bagātības un ziņojumu dokumentēšanas (Levi, 2014). Tehnoloģiju uzlabojumi un uzlaboti saziņas rīki ir devuši mums lielāku elastību. Cilvēki var strādāt dažādās pilsētās, valstīs un pat kontinentos. Tagad mēs varam klasificēt darba tikšanās pēc laika un vietas, un attīstīt virtuālās komandas. Komandu sanāksmes var iedalīt četrās grupās (Levi, 2014):

1. “tajā pašā laikā, tajā pašā vietā” ir sanāksmes, kas notiek klātienē;
2. “vienlaicīgi, dažādās vietās” ir tiešsaistes sapulces, kuru dalībnieki neatrodas vienā un tajā pašā vietā (video konferences, audio zvani, teksts vai pat to kombinācija);
3. “dažāda laika, vienas vietas” sanāksmes tiek izmantotas cilvēkiem, kuri strādā dažādās maiņās, un šie uzņēmumi parasti izmanto datu glabāšanas sistēmas;
4. “cits laiks, atšķirīga vieta” ir vissarežģītākais formāts, kurā darbiniekiem ir viena virtuālā telpa un tīmeklis.

Dažādi komunikācijas rīki atšķiras pēc to efektivitātes, un ne vienmēr uzņēmumiem ir iespēja izvēlēties klātienē sanāksmes, kuras parasti tiek uzskatītas par visefektīvākajām. Sarežģītāki sapulču uzstādījumi nozīmē, ka vadītājiem ir sarežģītāk uzturēt komunikāciju, nodrošināt efektivitāti un darbinieku apmierinātību. Saziņas līdzekļi ir ne tikai vārdi, bet arī ķermeņa valoda, balss tonis, attālums un emocijas. Lielākā daļa cilvēku mijiedarbības ir neverbāla, izmantojot trīs galvenās dimensijas: kinēzika (sejas izteiksmes, žesti un ķermeņa kustība), proksēmika (telpas uztvere un izmantošana) un hronoloģija (laika uztvere un

izmantošana) (Burgoon et al., 2011). Šo sakaru komponentu kompensācija, vienlaikus izmantojot tehnoloģiju, ir sarežģīta.

Mediju bagātīguma teorija apraksta dažādus komunikācijas kanālus, to piesātinājumu un efektivitāti. Saskaņā ar mediju bagātīguma teoriju, bagātākais saziņas kanāls ir klātienē, kam seko video konferences un tālruna zvani (Daft et al., 1986). Vismazāk efektīvi ir plakāti un lielapjoma e-pasti. Tas ir saistīts ar tūlītējas atgriezeniskās saites trūkumu. Atgriezeniskā saite ir tas, cik lielā mērā medijs ļauj lietotājiem ātri sniegt atsauksmes par saņemtajiem sakariem. Plašsaziņas līdzekļu bagātībai var piedēvēt piecas dimensijas: atgriezeniskās saites tiešums, paralēlisms, simbolu dažādība, pārstrādājamība un atkārtojamība. Saziņa klātienē ne vienmēr ir bagātākais un labākais medijs, pareiza multivides kopa ir atkarīga no tā, kura no šīm piecām dimensijām konkrētajā situācijā ir vissvarīgākā. Tika uzskatīts, ka paaugstināts videokonferenču apjoms atrisinās šīs komunikācijas problēmas, taču cerības netika īstenotas. Videokonferences neprasa tik pilnīgu uzmanību kā klātienē saziņa. Tas neaizstāj klātienē mijiedarbību, jo nespēj lasīt neverbālās norādes. Komunikācija virtuālajās komandās būtu jāattīsta ar dažādiem mediju veidiem, ņemot vērā darba stilu un uzdevumus, ieskaitot piesātinātākus un mazāk piesātinātus kanālus (Workman et al., 2003).

1.1.3 Tehnoloģiju radītā ietekme uz darbiniekiem un tā sekas

Neapšaubāmi, IKT maina veidu, kā cilvēki veic ikdienas uzdevumus, strādā un sazinās. Pašlaik izpētes uzsvars tiek likts uz IKT ietekmi uz konkrētām nozarēm vai organizācijām, taču trūkst pētījumu par indivīdiem vai darbiniekiem (De Wet et al., 2016). Esošie pētījumu rezultāti ir uzsvēruši pozitīvu un negatīvu IKT ietekmi.

De Wet et al. (2016) atklājuši, ka IKT ir vairāk pozitīvas pieredzes nekā negatīvas, un tas atsver negatīvo pieredzi darba dzīvē (De Wet et al., 2016). Vispozitīvākā IKT ietekme ir produktivitātes un efektivitātes palielināšanās, ietaupot izmaksas. Pētījumā, kurā pētīta IKT saistība ar produktivitātes pieaugumu, atklāts, ka IKT kapitāla ietekme ir divreiz nozīmīgāka nekā parastais kapitāls (Kılıçaslan et al., 2013). Darbinieki var strādāt ātrāk un paveikt vairāk uzdevumu, vieglāk piekļūstot darba dokumentiem, palielinot to pieejamību, ietaupot laiku, kas pavadīts ceļā uz darbu, veidojot produktīvākas attiecības un palielinot efektivitāti (De Wet et al., 2016). Lasrado et al., (2011) garengriezuma pētījumā atklājuši, ka jaunu tehnoloģiju un darba prakses ieviešana ir saistīta ar apmierinātības ar darbu uzlabošanu vai depresijas rādītāju izmaiņām (Lasrado et al., 2011). IKT tiek uzskatīta par pamatvajadzību un nodrošina organizatorisku savienojamību, bet šo tehnoloģiju trūkums izraisa lielu neapmierinātību.

Uzņēmumiem jābūt piesardzīgiem attiecībā uz IKT ietekmi uz to darba vidi un darba attiecībām. Būtiska ietekme ir uz darba plānošanu, organizatorisko dizainu, komunikācijas modeļiem un sekundārajām sociālajām sekām (Hartman et al., 1991). Neapšaubāmi tehnoloģijai ir daudz priekšrocību. Virtuālās komandas bieži uzrāda labāku lēmumu pieņemšanas ātrumu, lēmumu kvalitāti un komandas sadarbību nekā klātienē komandas (Cardon et al., 2015). De Wet et al., (2016) veikuši kvalitatīvu pētījumu par IKT ietekmi uz darbiniekiem (De Wet et al., 2016). Pētījuma rezultāti atklāj ieskatu tehnoloģiju ietekmē uz darbinieku darbu un privāto dzīvi (Pratt et al., 2021). IKT ir daudz pozitīvas un negatīvas ietekmes uz darbiniekiem (tabula 1.3). Darba dzīvē pozitīvā pieredze atsver negatīvo pieredzi. Daži no šiem efektiem pārklājas, jo tiem ir gan pozitīvā, gan negatīvā puse.

1.3. tabula.

Pozitīvās un negatīvās ietekmes apkopojums (Pratt et al, 2021).

Pozitīvā ietekme	Negatīvā ietekme
+ uzlabota spēja veikt savu darbu	- pārpratumi komunikācijā
+ uzlabota ideju ģenerēšana	- darba pieprasījuma un stundu pieaugums
+ elastīgāks darba laiks	- lielāks stresa līmenis
+ produktivitātes un efektivitātes pieaugums	- augstāks konfliktu līmenis un nespēja atrisināt konfliktus
+ palielināts darba ātrums	- pašapziņas zaudēšana
+ efektīvāka uzdevumu izpilde	- vieglāk rakstīt negatīvu ziņojumu
+ palielināta pieejamība	- darba hierarhiju kompromitācija
+ ērta piekļuve darba dokumentiem	- rada uzmanības novēršanu
+ ērta piekļuve darba sistēmām	- laika zaudēšanas risks
+ virtuālo biroju izveide	- klātienē saziņas samazināšanās
+ palielināta vēlme piedalīties	- ātras reakcijas/atbildes ekspektācijas
+ komunikācijas nodrošināšana	- lielākas produktivitātes ekspektācijas
+ produktīvākas attiecības	- sociālā slinkošana
+ biežāka saziņa	- mazāka apmierinātība
+ samazināts sociālais spiediens	- samazināta mijiedarbības nepieciešamība
+ ietaupīts laiks ceļam uz darbu	- zemākas starppersonu attiecības
	- grūtības atvienoties no darba, atrodoties mājās
	- izvairīšanās no konfrontējošām sarunām
	- palielināts tehnoloģisko rīku atkarības vai atkarības risks

Kaut arī tehnoloģija ļauj darbiniekiem būt produktīvākiem un efektīvākiem, tā ir radījusi arī situāciju, kurā darba devēji no darbiniekiem sagaida vairāk kā iepriekš. Tiek sagaidīts, ka darbinieki būs pieejami un atbildēs uz ziņojumiem daudz ātrāk. IKT uzlabo pieejamību, taču rada cerību, ka tā būs vienmēr pieejama, tādējādi palielinot darba prasības. Mobilo tālrunu izmantošana nodrošina darba devējam iespēju vienmēr būt savienotam ar saviem

darbiniekiem, taču tam ir bīstama blakne: pazūd robežas starp darbu un personīgo laiku (Cardon et al., 2015).

Šīm tehnoloģijām var būt gan pozitīva, gan negatīva ietekme uz darbinieku un darba devēju attiecībām. IKT samazina vajadzību pēc tiešas saziņas, bet tajā pašā laikā nodrošina biežas un produktīvākas attiecības. Nopietna problēma ir mobilo ierīču atkarība, lietotāji var izjust pilnīgu atkarību no IKT un savām ierīcēm (De Wet et al., 2016). Tehnoloģijas, kas var novērst uzmanību, noved arī pie laika zaudēšanas, piemēram, darba e-pasts novērš darbinieka uzmanību, un viņš pārbauda e-pastu, novēršoties no citiem pienākumiem. Šādi lasot un atbildot uz e-pastiem, bieži vien zūd kontrole pār laiku.

IKT izmantošana apdraud darba ķēdi vai uzņēmuma hierarhiju. Tiek mainīta statusa uztvere – samazinās statusa atšķirības. IKT komunikācijas pamatā ir zināšanas un viedokļi. Klātienē sanāksmēs runā viens vai daži cilvēki; pretrunīgi vērtētās virtuālās diskusijas mēdz būt demokrātiskākas (Levi, 2014). Kā atzīmēts motivācijas teorijā, komunikācija ar vadītājiem un augstāko vadību ir būtiska motivatoru sastāvdaļa (Herzberg, 2003).

Datorizētā komunikācijā daļa paredzētā ziņojuma var tikt zaudēta, un neverbālās norādes nav – tas var izraisīt nesaprašanos, personisko attiecību trūkumu, sociālās saiknes vājināšanos un zemāku darbinieku apmierinātību (Levi, 2014). Komunikācijas apjoms uzņēmumā var būt būtisks komandas locekļu attiecību kvalitātes mērījums. Pārpratumu un ierobežotas saziņas dēļ darbiniekiem varētu rasties konflikti (Hertel et al., 2005).

Viena no uz tehnoloģijām balstītas komunikācijas sekām ir palielināta anonimitāte. Tam ir vairākas negatīvās sekas. Pirmkārt, var zust sevis apzināšanās. Deindividualizācija var izraisīt slinkošanu: darbinieki, kas strādā grupā, pieliek mazāk pūļu, lai sasniegtu mērķi, un paļaujas uz citiem. Turklāt cilvēki saka to, ko viņi neteiktu, klātienē sazinoties. Mazāks sociālais spiediens var izraisīt augstāku konfliktu līmeni, nespēju atrisināt konfliktus un panākt vienprātību lēmumu pieņemšanas situācijās (Levi, 2014). Taču anonimitātei ir arī priekšrocības – labāka ideju ģenerēšana un lielāka vēlme piedalīties (Levi, 2014).

Lielākā daļa darba tiek veikta individuāli. Vadītājiem ir jābūt klāt un jāpārlicinās, ka viņi dara visu iespējamo, lai nodrošinātu vislabāko vidi viņu virtuālajām komandām. Papildus tehnoloģisko risinājumu ieviešanai eksperti iesaka uzņēmumu dažādu līmeņu vadītājiem dažas vadlīnijas un ieteikumus viņu sanāksmēm, sociālo attiecību un komunikācijas normu attīstībai (Levi, 2014; Vignovic et al., 2010):

- ja iespējams, organizēt klātienē sanāksmes, tostarp sociālās aktivitātes, lai veidotu sociālās saites;
- mudināt darbiniekus ikdienā neformāli sazināties;

- izmantot *SNP* emocionālā kapitāla veidošanai;
- nodrošināt konsekventas sanāksmes;
- labi definēt sanāksmju struktūru;
- ieviest e-pastu normas (definēt to uzbūvi, atbilžu grafiku un e-pasta ziņojumu saņēmējus);
- ieviest noteikumu par e-pasta nesūtīšanu, kad esat satraukts vai emocionāls;
- sākot videokonferenci, paziņot klātesošajiem, kuri dalībnieki piedalās sapulcē;
- novērst blakus sarunas videokonferences laikā;
- lūgt darbiniekus atsaukties, ja videokonferences laikā kaut kas nav skaidrs.

Ir dažādi iespējamie risinājumi. Pieņemot darbā komandu, ir ļoti ieteicams rīkot vismaz vienu tikšanos klātienē. Levi (2014) iesaka koncentrēties uz sociālo attiecību attīstīšanu (Levi, 2014). *SNP* izmantošana ir izrādījusies viens no veidiem, kā to izdarīt (Huang et al., 2010). Lai izvairītos no komunikācijas problēmām, ieteicams integrēt komunikācijas normas.

1.2 Darbinieku apmierinātība un motivācija attālināta darba apstākļos

IT sistēmu izstrādātājiem ir jābūt izpratnei par organizācijas pārvaldību un papildus savām tehniskajām prasmēm jāattīsta arī citas prasmes. Tehnoloģijas būtu jāattīsta, ņemot vērā sociālo zinātņu pētījumus. IT nodaļas un IT profesionāļi ir ļoti nozīmīgi uzņēmumā izmantoto tehnoloģiju attīstībā, tomēr IT speciālistiem trūkst atbilstošu starppersonu prasmju (Park et al., 2014). Šo prasmju trūkums var radīt komunikācijas problēmas un radīt šķēršļus tādu pakalpojumu sniegšanai, kas var pozitīvi ietekmēt pakalpojumu kvalitāti, patērētāju vai lietotāju apmierinātību un sniegumu. IT profesionāļiem nereti ir introverts personības tips, kas var būt šķērslis klienta kā personības un klienta vajadzību un stāvokļa izprašanā, jo viņiem var pietrūkt starppersonu prasmju un emocionālās intuitivitātes (Hendon et al., 2017; Shih et al., 2014; Lie et al., 2014). Jaunajā uzņēmējdarbības kontekstā informācijas tehnoloģiju izstrādātājiem ir nepieciešamas dažādas prasmes – tehniskās prasmes, emocionālā inteliģence un komunikācijas spējas (Hendon et al., 2017). Pētījumi norāda uz tendenci, kurā mazāk tehniskajām profesionālajām prasmēm IT ir lielāka nozīme karjeras panākumos (Wilkerson, 2012). Pieaug pieprasījums pēc IT speciālistiem ar projektu vadības, finanšu analīzes un komunikācijas prasmēm (Huang et al., 2010).

Uz tehnoloģijām balstītu sakaru sistēmu izstrādātājiem jāņem vērā daudzi faktori, tāpēc autori ir izveidojuši modeli un aprakstījuši attiecības starp šīm konstrukcijām. Šis modelis ir ceļvedis efektīvāku komunikācijas sistēmu izstrādei, izpratnei par organizācijas pārvaldības pētījumu par komunikācijas tehnoloģiju patieso ietekmi. Tas var palīdzēt atrisināt abus

jautājumus – izpētes ieviešanu uzņēmējdarbībā un tehnoloģijās, kā arī IT profesionālo izpratni par gala lietotājiem un klientiem.

Teorētiskais apskats šajā nodaļā izgaismo daudzus izaicinājumus, ar kuriem saskaras tehnoloģiju izstrādātāji un organizāciju vadītāji, un viņiem ir jāizprot cilvēku uzvedība, lai veiksmīgi īstenotu savas ieceres. Vienkāršu atbilžu nav, un visi uzrādītie aspekti ir svarīgi. Profesionāļiem no dažādām zinātnes jomām ir būtiski saprast un īstenot visus faktorus. Šī pētījuma mērķis ir vienkāršot šo problēmu, piedāvājot modeli, kas var palīdzēt profesionāļiem.

1.2.1 Tehnoloģiju izmantošanas ietekme un virtuālās komandas

Efektīvu starppersonu attiecību un komunikācijas radīšana uzņēmumiem ir atzīmēta kā divi galvenie izaicinājumi (Thompson et al., 2006). Kad komunikācija kļūst balstīta uz tehnoloģijām, abas šīs problēmas ir īpaši grūti atrisināt. Pozitīvas attiecības darba vietā un komandas darba atmosfēra ir būtiski kritēriji pozitīvam apmierinātības līmenim darbiniekos (Volkwein et al., 2003).

Veidojot komunikācijas sistēmas, tehnoloģiju izstrādātājiem ir svarīgi ņemt vērā sociālo attiecību kvalitāti (Pratt et al., 2021; Pratt et al., 2020b). Komunikācija ir svarīga, lai uzturētu sociālās attiecības, taču līdz ar attālināto darbu rodas sociālās informācijas trūkums uzņēmumā: trūkst sejas izteiksmes un neverbālās norādes (Driskell et al., 2003). Šis informācijas trūkums var ierobežot sociālās attiecības (Herzberg, 2003). Ir sarežģīti zināt, vai informācija tikusi saprasta. Piemēram, saprast, vai informācija e-pastā bijusi smieklīga vai sarkastiska. Eksperimentos ir pierādīts, ka daudzi cilvēki uzskata, ka viņi sazinās efektīvāk nekā patiesībā. Šie pētījumi parāda, ka šo pašpārliecinātību izraisa egocentrisms – grūtības atkāpties no sava viedokļa, vērtējot kāda cita perspektīvu (Kruger et al., 2005). Sekas ir pārpratumi, pieņēmumi par citas personas raksturu un nepatiesi secinājumi (Vignovic et al., 2010). Īpaši sarežģītas šīs problēmas ir, sadarbojoties dažādu kultūru pārstāvjiem (Levi, 2014).

Darba vidē viens no svarīgākajiem apsvērumiem ir līdera un ierindas dalībnieka komunikācija. Komunikācija starp darbinieku un viņa vadītāju uzņēmumam ir kritiska, jo tā ietekmē daudzus aspektus, sākot no darba izpildes un apmierinātības. Līdera ietekme uz virtuālajām komandām ir īpaši svarīga, jo tām ir sarežģītākas problēmas nekā klātienē komandās, komandas procesa strukturēšanā un uzdevumu atbalsta sniegšanā (Huang et al., 2010). Sakaru ierobežojumu dēļ virtuālajām komandām nepieciešama aktīvāka vadība. Darbiniekiem ir grūtības justies kā komandai, un viņiem ir ierobežojumi sociālo attiecību

veidošanā (Levi, 2014). Dube et al., (2009) apkopojā datus no 42 virtuālo komandu vadītājiem un dalībniekiem un nāca klajā ar 5 paradoksiem (Dubé et al., 2009):

1. virtuālajām komandām nepieciešama fiziska klātbūtne;
2. virtuālā komandas darba elastību veicina struktūra;
3. savstarpējais darbs virtuālajās komandās tiek paveikts ar dalībnieku neatkarīgu ieguldījumu;
4. uz uzdevumu orientēts virtuālais komandas darbs izdodas, izmantojot sociālo mijiedarbību;
5. neuzticēšanās ir būtiska, lai izveidotu uzticību virtuālo komandas dalībnieku vidū.

Kamēr tehnoloģiju izstrādātāji gādā par tehnoloģiju efektivitātes uzlabošanu, tieši vadītāji ir tie, kuriem jāzina, kā šīs tehnoloģijas izmantot pēc iespējas labāk. Labs līderis virtuālajām komandām nebūt nenozīmē, ka vadītājam ir jābūt attīstītām digitālajām prasmēm. Tā vietā viņam jāattīsta jaunas prasmes, kas cilvēkus virza digitālās vides traucējumu gadījumā (Kane, 2018). Kane (2018) pētījis labāko digitālo līderu kopīgās iezīmes (Kane, 2018). Pēc 4300 globālo vadītāju atbilžu analīzes visvairāk vēlamā digitālās līderības iezīme ir spēja nodrošināt redzējumu un mērķi (Kane, 2018). Tas neprasa padziļinātas zināšanas par tehnoloģijām, drīzāk pamata digitālās prasmes.

Ir liela atšķirība, ja vadītājs uzticas, motivē un savlaicīgi atzīst darbinieka paveikto (Nalina, 2016). Pārbaudot saikni starp komunikāciju un darbinieku sniegumu, secinājumi liecina, ka efektīva komunikācija rada savstarpēju sapratni starp vadību un darbiniekiem (Bhatia et al., 2015). Herzberg divu faktoru teorija arī liek domāt, ka darbinieku informēšana un viņu darba un sasniegumu atzīšana motivē un uztur apmierinātību (Herzberg, 2003).

IT sistēmu veidotājiem ir jāiekļauj un jānodrošina vajadzīgās funkcijas, lai komunikācija būtu ērta un efektīva. Konstruktīvas, pozitīvas atsauksmes un regulāra komunikācija var novērst komunikācijas šķēršļus un nodrošināt pārredzamību organizācijās (Bhatia et al., 2015). Vadītājiem jābūt atvērtiem idejām un ierosinājumiem, kā arī jāgādā par skaidrību, paziņojot darbiniekiem par pasūtījumiem, informāciju un gaidām (Bhatia et al., 2015).

Līderu-dalībnieku apmaiņas teorija (leader member exchange, *LMX*) izskaidro komunikāciju starp vadītāju un darbinieku. Darbiniekus var iedalīt grupas vai ārpusgrupas dalībniekos, un šīs teorijas ideja ir tāda, ka vadītāji neizturas pret visiem vienādi. Grupas darbinieki saņem lielāku uzmanību un vairāk labumu. Vadītājs viņus uzskata par labākiem darbā, uzticamākiem un lojālākiem. Ārpusgrupas darbiniekiem ir mazāk priekšrocību. Līderi viņiem mazāk uzticas, un viņi saņem mazāk labumu. *LMX* teorijas kritiskā daļa ir

komunikācija. Līderi mazāk pievērš uzmanību, atbalstu, uzraudzību un mazāk sazinās ar ārpusgrupas locekļiem. Sekas var būt smagas – palielināta vēlme pamest uzņēmumu, zemāki darba rezultāti, negatīvi ietekmēta uzvedība, saistību problēmas un neapmierinātība (Dulebohn et al., 2012).

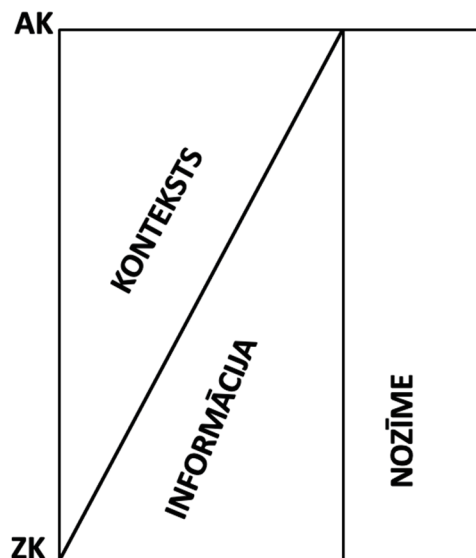
Šo *LMX* komunikāciju – līderu un darbinieku apmaiņu - ietekmē gan darbinieka un līdera īpašības, gan savstarpējās attiecības. Kamēr līderi sazinās, izmantojot uz tehnoloģijām balstītus rīkus, un vada virtuālās komandas, patiesos nodomus var pārprast. Darbinieki var justies kā ārpusgrupas locekļi pat tad, ja vadītājs nemaz negrasās viņus izslēgt. Ir grūti panākt pareizas saziņas līdzsvaru, ja tā nav klātienē un tik bieži, kā tas ir tipiskā biroja apstākļos.

1.2.1.1 Komunikāciju tehnoloģiju lietotāju kultūras atšķirību ietekme

Komunikāciju ietekmē kultūras un vecuma atšķirības (Tannenbaum et al., 2012). Tehnoloģiju izstrādātājiem būtu jāņem vērā lietotāja kultūras fons. Röse et al., (2001) atpazīnuši trūkumus tehnoloģiju sistēmu izstrādātāju zināšanās, izstrādājot ārvalstu tirgus produktus (Röse et al., 2001). Pētījumā par attiecīgo starpkultūru mainīgo specifiskāciju, analīzi un integrāciju Röse (2004) norādījusi, ka moderniem un lietotājam draudzīgiem produktiem kā viena no galvenajām iezīmēm jāietver kultūras daudzveidība (Röse, 2004). Diemžēl realitātē tas ir ļoti sarežģīti.

Varētu domāt, ka komunikācijas īpatnības izriet no valodu kodu atšķirībām, taču Hall (1976) apgalvo, ka problēma ir kontekstā, kurā ir dažādas nozīmes proporcijas (Hall, 1976). Sarunvaloda ir domu abstrakcija, savukārt rakstu valoda ir sarunvalodas abstrakcija. Faktiskais notikums ir daudz sarežģītāks un bagātāks nekā tā abstrakcija sarunvalodā un rakstu valodā. Ir dabiski, ka cilvēki izvēlas dažas informācijas daļas un neapzināti ignorē citas.

Saskaņā ar Hall (1976) teikto, jebkuru saziņu var raksturot kā augsta, zema vai vidēja konteksta komunikāciju (attēls 1.1) (Hall, 1976). Augsta konteksta (AK) komunikācijās ir daudz vairāk konteksta un maz informācijas vai tās nav vispār, bet saziņa ar zemu kontekstu (ZK) nodrošina daudz informācijas ar nelielu slēptu kontekstu vai bez tā.

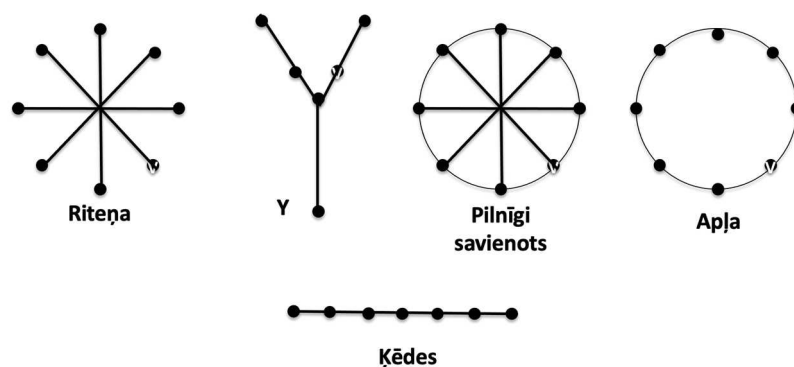


1.1. att. Informācija, konteksts un nozīme augsta konteksta (AK) un zema konteksta (ZK) kultūrās (Hall, 1976).

Uz tehnoloģijām balstītas komunikācijas ietvaros vissarežģītākais jautājums ir vēlamā ziņojuma pārsūtīšana komunikācijā augstu kontekstu kultūrās. Lielākā daļa paustās informācijas, tās nozīme un nodoms netiek pārraidīts vārdos, un tas var izraisīt pārpratumus. Lai būtu pietiekama AK komunikācija, tā ir jāprogrammē. Ja tas netiek darīts, šī saziņa nav pietiekama (Hall, 1976). Turpretī ZK komunikācija var būt ļoti īsa un kodolīga, informācija nav pietiekami detalizēti izskaidrota, tai trūkst emociju un personisko attiecību.

1.2.1.2 Komunikācijas struktūra darbinieku vidē

Komunikāciju tīkls organizācijas dalībnieku vidē parāda iespējamās informācijas mijiedarbības veidus (Bavelas, 1950). Ir vismaz 5 dažādas tīkla struktūras (attēls 1.2).



1.2. att. Komunikācijas tīklu veidi (Bavelas, 1950)

Riteņa (wheel) komunikācija ir sakārtota centralizētā tīklā, dalībnieki sazinās ar vadītāju, bet ne savā starpā. Tā ir efektīva, kad jātiek galā ar vienkāršiem uzdevumiem, darbiniekiem ir jāpieņem līderu autoritāte. Tas tiek piedāvāts organizācijās, kur galvenā pārvalde ir pilnībā atbildīga. Vadītājam šajā komunikācijā ir skaidrība, taču, tā kā dalībnieki nevar savstarpēji sazināties, tas var mazināt viņu apmierinātību. **Y** ir līdzīgs riteņa struktūrai, bet palielina saziņu starp dalībniekiem dažādās filiālēs. **Pilnīgi savienotā** saziņā (completely connected) visas puses ir saistītas un savstarpēji mijiedarbojas. Šis saziņas veids ir labāks sarežģītiem uzdevumiem, demokrātiskāks, bet var būt lēns. Veicot vienkāršus uzdevumus, šāda veida saziņa var pazemināt veiktspēju laika zaudēšanas dēļ. Tas ir demokrātiskāk, bet vadības loma var būt neskaidra, jo tā ir kopīga visiem dalībniekiem.

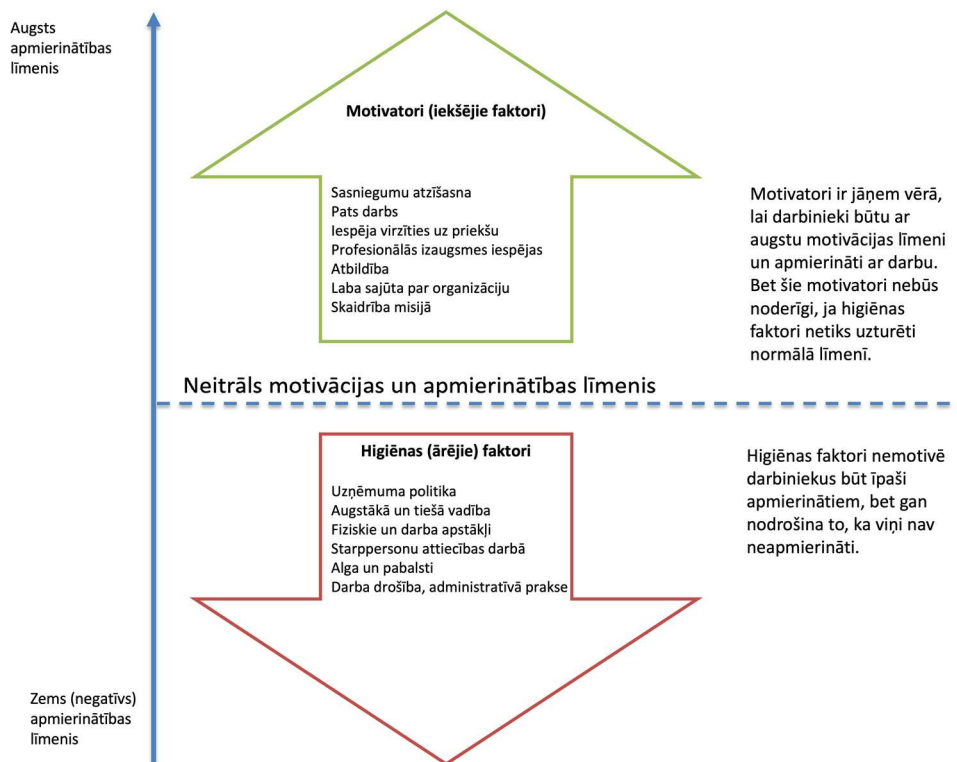
Ķēdes vai līnijas (chain) saziņa ir ierobežota tikai starp noteiktiem grupas dalībniekiem. Tā darbojas labi gan sarežģītiem, gan vienkāršiem uzdevumiem. Apmierinātība ir labāka nekā riteņa komunikācijā, taču dalībnieki nestrādā komandā, vadība ir vāja un trūkst koordinētas struktūras. **Apla** komunikācija ir līdzīga ķēdes komunikācijai, izņemot to, ka abi gala elementi ir savienoti.

Tā kā apmierinātība apla un riteņa komunikācijā ir augstāka, tos varētu ieteikt saziņai ar tehnoloģijas ierīcēm, taču jāņem vērā noteiktas vadības ietekmes zaudēšana. Tas ir jāizpēta un jāpārbauda, lai noteiktu, kurš no šiem modeļiem ir piemērotāks datorizētai saziņai.

1.2.1.3 Motivācija attālināta darba apstākļos un saziņā, izmantojot tehnoloģiju

Motivēts darbaspēks ir atzīts par konkurētspējas priekšrocību jaunajā modernizētajā darba vidē (Steers et al., 2014). Komunikācijas tehnoloģijas būtu jāattīsta, ņemot vērā šo faktoru. Motivācija ir cilvēku iekšējais psiholoģiskais spēks, kas viņus rosina strādāt (Renge, 1999). Lai gan varētu domāt, ka iemesls, kāpēc cilvēki strādā, ir naudas pelnīšana, tas nebūt nav galvenais viņu motivēšanas faktors. Darbiniekus motivē ne tikai atalgojums un finansiālie ieguvumi, bet arī emocionālie apsvērumi un uzraudzības stils (Whetten et al., 2011). Darbiniekam ir jājūt, ka viņš ir daļa no vērtīga projekta un ka projekts ir izdevies, jo tajā vajadzīgas viņa spējas (Whetten et al., 2011). Jaunāki pētījumi IT jomā rāda, ka IT profesionāļiem darbs pats par sevi un sasniegumu izjūta ir nozīmīgāki motivatori (Ahmed et al., 2017). Pētījumi liecina, ka motivācija un atalgojoša darba vide ir svarīgāka par algas un pabalstu palielināšanu.

Motivācija ietver daudzus faktoros. Herzbergs (2003) izstrādājis divu faktoru teoriju, izmantojot higiēnas (ārējie) un motivatoru (iekšējie) faktoros (Herzberg, 2003). Šī teorija ir izmantota jau pašos sociotehnisku sistēmu pētījumu pamatos (Trist, 1981).



1.3. att. Herzberga divu faktoru teorija – motivatori un higiēnas faktori.

Alga, pabalsti, uzraudzība, savstarpējās attiecības, fiziskie un darba apstākļi, uzņēmuma politika, darba drošība un administratīvā prakse ir higiēnas faktori. Ja šie faktori ir zem pieņemama līmeņa, darbinieki kļūst neapmierināti. Šie faktori uztur darbiniekus neitrālā līmenī, taču, ja šie faktori ir optimāli, darbinieku motivācija nepalielināsies. Patiesā papildus motivācija tiek panākta, uzlabojot motivējošos faktoros, tādus kā sasniegumi, sasniegumu atzīšana, pats darbs, atbildība un izaugsme vai virzība uz priekšu. Darba motivācija un sniegums rada apmierinātību (De Wet et al., 2016). Nopietnākās apmierinātības/neapmierinātības sekas ir darbinieka palikšana vai aiziešana no organizācijas (Ahmed et al., 2017; Coomber et al., 2007; Pratt et al., 2021; Whetten et al., 2011). Uz tehnoloģijām balstītās komunikācijas ietvaros tas ir īpaši izaicinoši un kritiski.

Var secināt, ka ir iespējams sazināties, izmantojot tehnoloģijas, un motivēt darbiniekus ar tādu pašu efektivitāti kā klātienē saziņā (Pratt et al., 2021). Tādējādi, lai to panāktu, ir svarīgi izprast iesaistītos faktoros.

1.2.1.4 Esošo komunikācijas un darbinieku iesaistes tehnoloģisko sistēmu analīze

Šobrīd tirgū pieejamie tehnoloģiskie komunikācijas rīki atšķiras pēc to funkcionalitātes, piedāvātajām iespējām, pieejamības un izmaksām. Lai arī internetā ir atrodama informācija par neskaitāmiem rīkiem un piedāvājumiem, paši pamata profesionālie rīki, kuriem uzņēmums var uzticēties, ir tikai daži. Ļoti liela nozīme, kura jāizvērtē, ir arī cenai – no bezmaksas līdz pat ļoti augstām izmaksām par katru uzņēmuma darbinieku. Izmaksas var būt pamatots ieguldījums, kas sevi attaisno, uzlabojot uzņēmuma iekšējo komunikāciju. Šajā nodaļā izlases kārtā tiks uzskaitīti rīki, kuri pēc funkcionalitātes un iespējām atbilst šī pētījuma tēmai un ir ilgākā laika periodā pārbaudīti darba tirgū.

Pētījuma ietvaros ir noteikta minimālā funkcionalitāte, lai uzņēmums varētu efektīvi komunicēt ar saviem darbiniekiem. Šīs funkcijas ir video, audio, teksta īsziņas (tērzēšana), dalīšanās ar tekstu, dalīšanās ar balsi, dalīšanās ar ekrānu, rakstīts teksts (piemēram, e-pasts) un balsošanas/aptaujas funkcija. Šādas funkcijas pilnā apmērā nodrošina *Microsoft Teams*, *Slack*, *Skype for Business* un *Google Meet*.

• ***Microsoft Teams*** ir daļa no *Microsoft 365* produktu grupas, kas nodrošina ļoti ērtu integrāciju ar citām *Microsoft* programmām. Ar šī rīka palīdzību ir iespējams rīkot video un audio konferences līdz pat 10 000 dalībniekiem organizācijā un ārpus tās (Microsoft, 2021). Jāpiebilst, ka liela daļa uzskaitīto funkciju pilnā apmērā tiek nodrošinātas ar kādu no maksas versijām un bezmaksas rīka izmantošanas iespējas ir samērā limitētas. Ļoti svarīgs aspekts, kurš arī tiek pilnā apmērā nodrošināts, izmantojot maksas versijas, ir uzņēmuma līmeņa drošības garantija. *Microsoft Teams* galvenās iespējas (Brooks, 2020):

- audio zvani: *Microsoft Teams* papildus videokonferencēm atļauj audio zvanus;
- tērzēšanas lietojumprogramma: neliels logs uz darbvirsmas ļauj redzēt, kurš pašlaik ir tiešsaistē, prom vai atrodas režīmā “netraucēt”. Iespējams arī sakārtot kolēģus grupās. Šajā logā ir iespēja uzaicināt dalībniekus uz videokonferenci, nosūtīt viņiem dokumentus vai ātru piezīmi;
- spēja pārvaldīt dalībniekus: administrators var izslēgt, noņemt vai kontrolēt dalībnieku piekļuvi funkcijām. Piemēram, ja dalībnieka mikrofons uztver fona trokšņus, vadītājs var to viegli izslēgt. Lietotāji var arī izslēgt video plūsmas vai uzaicināt papildu dalībniekus tikšanās laikā;
- sapulces piezīmes: iespēja videokonferences laikā veikt piezīmes, lai tās vēlāk varētu izmantot. Iespējams arī kopīgot piezīmes ar laika zīmogiem ar citiem dalībniekiem un savas organizācijas dalībniekiem, kuri nepiedalās zvanā;

- sapulču ieraksti: ir pieejami audio un video ieraksti, tāpēc tiek nodrošināta iespēja saglabāt arhivētās sapulces turpmākai izmantošanai;
 - aptaujas un balsošana: lietotāji var izveidot aptaujas, lai uzzinātu dalībnieku atsauksmes un viedokli;
 - plānošana: apmaksātās *Microsoft Teams* versijas ļauj savlaicīgi plānot sapulces programmā *Outlook* vai vietējā tīmekļa plānotājā. Dalībniekiem var arī izsūtīt sapulces informāciju, piemēram, saiti vai iezvanes informāciju;
 - ekrāna koplietošana: viena no vissvarīgākajām videokonferenču funkcijām ir iespēja pārraidīt ekrānu citiem dalībniekiem. Lietotāji ekrānā var kopīgot praktiski visu, neatkarīgi no tā, vai tas ir viss ekrāns, vai tikai noteikts logs;
 - tāfeles: tāfeles ir sadarbības rīks, kuru jebkurš lietotājs var izmantot, lai citiem dalībniekiem viegli un saprotami paziņotu idejas vai nodotu informāciju.
- **Slack** ir komunikācijas sistēma, kura piedāvā līdzīgu funkciju klāstu kā *Microsoft Teams*, un tiek uzskatīta par *Microsoft Teams* galveno līdzvērtīgo konkurentu. Pārsvārā šo sistēmu lieto IT vai samērā tehniski uzņēmumi, uzņēmumu darbiniekiem bez tehniskām zināšanām šis rīks var būt pārāk sarežģīti lietojams un apgūstams. *Slack* nodrošina augstākās kvalitātes drošību. Nelielām komandām šī sistēma ir bez maksas, bet tās lietošanas iespējas ir ļoti ierobežotas. Šajā rīkā ir daudz dažādu funkciju, par kurām lietotājs pat var nenojaust, un iespēju klāsts ir ļoti plašs, īpaši, ja lietotājs brīvi pārzina tehnoloģijas. Galvenās uzskaitītās funkcijas ir (Slack Technologies, 2021):
 - video un audio konferences ar ekrāna dalīšanās iespēju. Liels pluss ir iespēja pieslēgties konferencei citā servisā, piemēram, *Zoom*, *Cisco Webex Meetings*, *Microsoft Teams*, *Google Hangouts* vai *Blue Jeans*, nepametot *Slack* programmu;
 - tērzēšanai *Slack* rīkā ir dažādas papildus funkcijas – sarunu organizēšana un kategorizēšana, sarunu saglabāšana vēlākai lietošanai un ērtai atrašanai. Sarunas iespējams veidot, sinhronizējot grupās un diskusiju tēmās. Tērzēšanas funkciju iespējams izmantot citu sistēmu ietvaros, piemēram, *Google Drive*, *Sales Force* vai *Asaandesk*;
 - kanālu veidošana (*Slack Channels*) ir viens no *Slack* galvenajiem uzsvērtajiem bonusiem. Tas palīdz organizēt darbu, visiem uzskatāmi sinhronizēt un plānot termiņus, nodrošina augstāku produktivitāti ar ērti atrodamiem failiem un sarunām;

- Slack Connect ir funkcija, ar kuras palīdzību iespējams ātri, ērti un droši pārnest sarunas ar kolēģiem un ārpus uzņēmuma partneriem no e-pastiem uz koplietojamu telpu. Viegli organizējamās sapulces, koplietošanas dokumentu un dažādu citu ikdienas uzdevumu vienkāršošana;
 - meklēšanas funkcija darbojas augstā līmenī ne tikai *Slack* ietvaros, bet palīdz atrast dokumentus arī citās sistēmās, piemēram, *Google Drive*, *Mystery App*, *Dropbox* vai *Obie*;
 - failu dalīšanās tiek nodrošināta starp dažādām programmatūrām, ierīču veidiem un dažādiem departamentiem. Izmantojot Slack Channels, ir iespēja droši dalīties pat ar ļoti liela izmēra attēliem.
- **Skype for Business** ir daļa no *Office 365* piedāvātā produkta pakas, neprasot papildus samaksu. Šis rīks ir veidots, lai piedāvātu pašas pamata funkcijas – tērzēšanu, audio un video zvanus (līdz 250 dalībniekiem), tiešsaistes sapulces, informāciju par pieejamību (klātbūtni), ekrāna un failu koplietošanas iespējas un balsošanas funkcija. Šī sistēma ir droša uzņēmuma lietošanā. 2021.gadā *Microsoft* aizstāj *Skype for Business* ar *Microsoft Teams* un šī sistēma vairs nebūs pieejama lietošanai (*Microsoft Inc.*, 2020).
 - **Google Meet** programmatūra kopā ar *Google Chat* aizstāj sistēmu *Google Hangouts*. Šī sistēma tiek piedāvāta kā daļa no *Google Workspace*. Šis ir bezmaksas rīks un tā ietvaros var rīkot tikšanās līdz pat 250 dalībniekiem un līdz pat 10 000 tiešsaistes skatītājiem. Vienkārša plānošana un ekrāna koplietošana, reāllaika subtitri un izkārtējumi, balsošanas funkcija un video zvānu ierakstīšana. Limitēta laika zvaniem šī sistēma ir bez maksas. Savienojumā ar citiem *Google* rīkiem (piemēram, *Google Calendars*, *Drive*, *Gmail*, *Chat*, *Docs*, *Sheet*, *Forms* u.c.) šī ir vispusīga programmatūra un funkciju klāsts ir ļoti plašs. *Google Workspace* savieno šīs sistēmas ērtai uzņēmumu lietošanai un nodrošina datu drošību un privātumu. *Google Workspace* ir maksas programma. Kā negatīvais aspekts tiek minēta problemātiska integrēšana ar citu veidotāju sistēmām un sarežģījumi dokumentu koplietošanā. Iesākumā minēto *Google* produktu lietošana var šķist sarežģīta un nesaprotama, un piedāvātais iespēju klāsts – mulsinošs.

Augstāk minētie rīki ir unikāli ar to plašo funkcionalitāti un komunikācijas iespējām. Tomēr tie nepiedāvā integrētu darbinieku motivācijas aspektu. *Microsoft Teams* un *Slack* programmatūras ietver darbinieku informēšanu un iekšējo komunikāciju kā pārdomātu funkciju. Ir pieejami vairāki rīki, kuri var tikt lietoti kā papildinājums darbinieku motivēšanai, produktivitātes palielināšanai un socializēšanās iespējām. Huy et al., (2012)

iesaka Sociālos tīklus kā rīku, kuri var uzlabot darbinieku iekšējo komunikāciju, ar nosacījumu, ka tie tiek lietoti pārdomāti (Huy et al., 2012) Vispopulārākās un noderīgākās pieejamās sistēmas ir *Workplace* (no *Facebook*), *Yammer* un *Microsoft* jauninājums *Viva*.

- **Workplace** ir tādas pašas pazīstamas funkcijas kā citām *Facebook* lietotnēm, bet tā lietošana paredzēta uzņēmumiem. To ir iespējams lietot kā papildinājumu citām komunikāciju tehnoloģijām, piemēram, *Azure AD*, *Google Workspace*, *SharePoint*, *ADP* un *Office365*. Programmas veidotāji uzsvē lietotāju iespēju dalīties ar viedokli, izteikt savas domas ar komentāriem un reakciju pogām, kā arī ar aptaujām un balsošanu, tādējādi radot atvērtāku darba kultūru. Piedāvājot dažādas komunikācijas funkcijas – tiešraides video straumēšana, video un audio zvani, tērzēšanas funkcija, neierobežota failu, fotoattēlu un video krātuve, administrēšanas kontroles – šīs sistēmas uzsvē ir uz darbinieku iesaisti, abpusēju komunikāciju, sadarbības rīkiem un citu esošo rīku efektivitātes palielināšanu. Šī ir maksas programma un drošības aspekts nav pilnībā skaidrs un garantēts. Lai gan ir uzņēmumi, kuri izmanto bezmaksas *Facebook* grupas sava uzņēmuma vajadzībām, šis nav vēlams tieši drošības aspekta dēļ – dati un privātums var būt apdraudēti, un kontrolēt šīs grupas ir ļoti sarežģīti.

- **Yammer** ir uzņēmuma sociālais tīkls (*ESN*, *Enterprise Social Network*), kas ir daļa no *Microsoft365* abonementa un produktu pakas. Sākotnēji izstrādāta kā iekšējās komunikācijas sistēma, vietne ļauj biznesa lietotājiem viegli sadarboties, lai apmierinātu biznesa vajadzības. Līdzīgi kā privātām vajadzībām izmantotajos sociālajos tīklos (piemēram, *Facebook*), tas ļauj sazināties ar citiem lietotājiem organizācijā vai ārpus tās. *Yammer* vidē iespējams veidot un stiprināt attiecības ar kolēģiem un būt sociāli aktīvam. Ar šīs sistēmas palīdzību var ievietot paziņojumus un pasākumus, pārvaldīt grupas projektus, privātos ziņojumus, sekot līdz aktuālajiem darbiem un jaunumiem, dot vērtīgu ieguldījumu un gūt atsauksmes, publicēt failus un rediģēt grupas dokumentus. Lai padarītu komunikāciju atraktīvāku un neformālāku, ir iespējams dalīties ar fotogrāfijām, video, *GIF* attēliem uz koplietošanas sienas, lietot emocijzīmes, veikt aptaujas un balsošanu, dalīties ar ierakstiem, komentēt un spiest “patīk” pogu (Jackson, 2019). Pēc būtības šī ir neformāla darba komunikācijas sadaļa. Galvenais pluss: šai sistēmai ir drošības garantija.

- **Microsoft Viva** ir jauna sistēma izstrādes procesā, kura integrējama *Microsoft365* un *Microsoft Teams* un tās mērķis ir darbinieku iesaistīšanās, labklājība, mācīšanās un zināšanu uzlabošanas iespējas (Microsoft News Center, 2021). Šī sistēma ir kā atbilde 2020. gada pandēmijai un tās radītajiem sarežģījumiem darba vidē. Tiek piemeklēti dažādi veidi, kā uzlabot darbinieku labklājību attālināta darba apstākļos. Dažas no izstrādātajām funkcijām

ir iekšējā komunikācija, uzņēmuma politikas resursi, uzņēmuma jaunumi, darbinieku resursu grupas un kopienas, mācību materiāli, kursi un cits saturs darbinieku izglītošanai. *Viva Insights* ietvers datus vadītājiem, lai uzraudzītu darbinieku veiktā darba veidus un tendences (Warren, 2021).

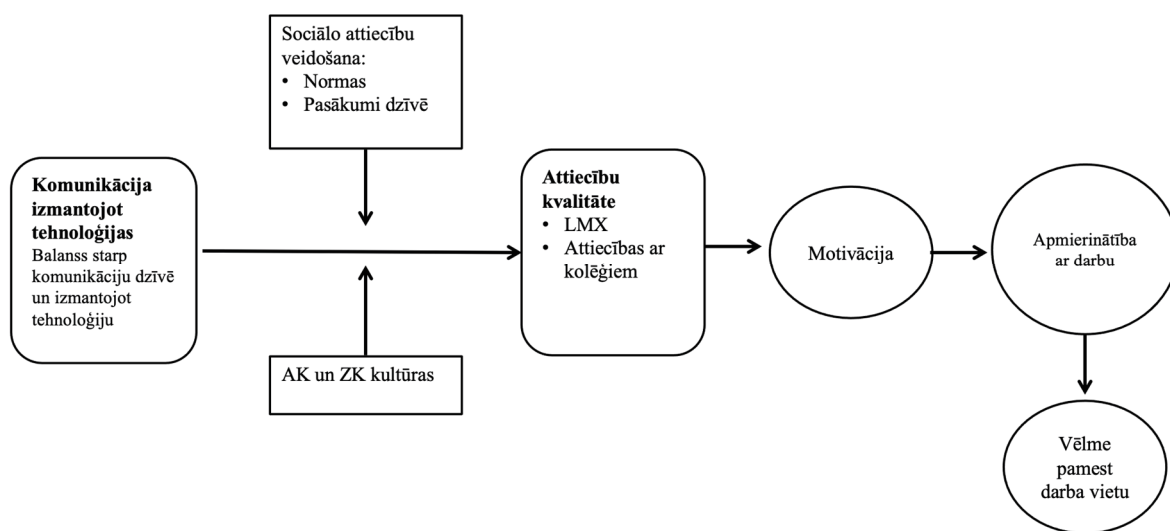
Darbinieku motivēšanai, kā arī apmierinātības un iesaistes nodrošināšanā un mērīšanā ļoti svarīga ir atgriezeniskās saiknes nodrošināšana. To var paveikt, izmantojot regulāras aptaujas. Tās var būt gan ikgadējās aptaujas, izmantojot tādus resursus kā *TNT*, *Qualtrics* un *Sirota*, gan arī regulārākas “Pulsa” aptaujas, izmantojot *Survey Monkey*, *Google Forms* un citus internetā pieejamos aptauju rīkus. Aktuāls un vērtīgs rīks ir **Peero** (Peero.app), kas būtībā nodrošina pozitīvu atgriezenisko saiti ikdienā, izmantojot organizācijas vērtības. Tiek ģenerēti dati, kas mēra darbinieku aktivitāti (līdz ar to var noteikt iesaistes līmeni dažādos departamentos) un vienotības indeksu, jeb to, cik vienots ir kolektīvs savā sadarbībā starpdepartamentu robežās (Peero, 2021). Šo aplikāciju iespējams integrēt *Microsoft Teams* un *Slack* sistēmās.

Šobrīd nav pieejama viena ideālā sistēma, lai savienotu visus faktoros, kuri lielākoties atrodami atsevišķi dažādās platformās – efektīvas komunikācijas funkcionalitāti, darbinieku motivāciju un iesaisti, regulāru darbinieku motivācijas un apmierinātības izvērtēšanu, analīzi, socializēšanās iespējas, ērtu administrēšanu un augstākā līmeņa drošības aspektu. Ir pieprasījums pēc šādas sistēmas, kura apkopo dažādās šķautnes un ietver gan funkcionalitāti, gan rūpes par darbinieku apmierinātību, iesaisti un produktivitāti. Motivācija kā koncepts netiek pieminēta sistēmu piedāvājumos. Pašreiz vistuvāk tam ir *Slack* un *Microsoft Teams*. Potenciāli jaunā *Microsoft Viva* sistēma varētu šim ideālam pietuvoties, tomēr tā līdz galam neapmierina uzņēmumu vajadzības pilnā apmērā. Minēto sistēmu funkcionalitāte ir laba, bet nav pietiekama, lai vadītājs pārvaldītu darbinieku motivāciju, apmierinātību ar darbu un ar mašīnmācīšanās tehniku palīdzību mērītu un analizētu kadru mainību.

1.2.1.5 Autora izstrādāts teorētiskais modelis un ontoloģija komunikācijai, izmantojot tehnoloģiskos rīkus

Autore šajā konceptuālajā modelī ir apvienojusi faktoros, kuri ietekmē uz tehnoloģijām balstītas komunikācijas rezultātus un konceptu mijiedarbību (attēls 1.4) (Pratt et al., 2021). Motivācija šajā modelī ir iekļauta, izmantojot Hercberga divu faktoru teorijas būtību (Herzberg, 2003). Motivāciju ietekmē attiecības ar darba kolēģiem un vadība. Šīs attiecības ietekmē klātienē tikšanās skaits, uzņēmuma normas un kultūras fons. Autori prognozē, ka,

jo vairāk darba komunikācijas notiek ar tehnoloģijās balstītiem līdzekļiem, jo grūtāk ir uzturēt kvalitatīvas attiecības uzņēmuma iekšienē, un tas var negatīvi ietekmēt darba motivāciju (Pauga et al., 2019). Ja darba attiecību kvalitāte ir pareiza, tas noved pie augstākas motivācijas (Pauga et al., 2019; Pratt et al., 2020b). Motivētiem darbiniekiem ir augstāki apmierinātības rādītāji, kas noved pie zemāka darbinieku aiziešanas līmeņa (vēlmes aiziet no uzņēmuma) (Ahmed et al., 2017; Coomber et al., 2007; Pratt et al., 2021; Pratt et al., 2020b; Wren et al., 1994).



1.4. att. Modelis: tehnoloģijas izmantošana komunikācijā ietekme uz darba motivāciju un sekas (Pratt et al., 2021).

Šo modeli izskatījusi un validējusi arī Eiropā un pasaulē atzītā organizācijas pārvaldības jomas eksperte, Bogazici Universitātes Istanbulā profesore Ph.D. Hayat Kabasakal. Lai šis modelis būtu tehnoloģiju izstrādātājiem vieglāk saprotams un praktiskāk pielietojams, tika izstrādāta ontoloģija, izmantojot *Protégé* – sistēmu, kas izstrādāta Stenfordas universitātē (Pratt et al., 2020a).

Iepriekš ir veikts pētījums par motivācijas ietveršanu uzņēmuma arhitektūrā izmantojot ontoloģiju (Azevedo et al., 2011). Autore šo ideju papildina ar motivācijas detalizētu ontoloģiju konkrēti komunikācijai izmantojot tehnoloģiskos rīkus. Šī ontoloģija (attēls 1.5) uzskaita faktorus, kas ietekmē uz tehnoloģijām balstītu komunikāciju, un piedāvā apakškategorijas. *Protégé* pamatā ir Java, un ontoloģiju var augšupielādēt un lejupielādēt RDF / XML, Turtle, OWL / XML, OBO un citos formātos. Šī elastība ļauj sistēmas izstrādātājiem un organizāciju vadītājiem viegli integrēt šo ontoloģiju savām vajadzībām.



1.5. att. Uz tehnoloģijām balstītas komunikācijas ietekmējošo faktoru ontoloģija (Pratt et al., 2020a).

Trīs galvenie uz tehnoloģijām balstītas komunikācijas apakšpunkti 1.5. attēlā ir darba attiecību kvalitāte, motivācija un apmierinātība. Visi šie aspekti ir izmērāmi. Darba attiecību kvalitāte ir svarīgs darba motivācijas aspekts. Kvalitāti nosaka kultūra, no kuras nāk darbinieks, attiecības starp darbiniekiem un vadība. Šos faktoros var ietekmēt sociālo attiecību attīstība, kas notiek, ideālā gadījumā tiekoties klātienē, bet to var panākt arī ar tehnoloģijās balstītu saziņas kanālu starpniecību. Vēl viens iespējamais rīks ir normu ievērošana un spēcīga organizācijas kultūra (Vignovic et al., 2010).

Motivācija ir sarežģīta parādība, un viens no veidiem, kā to izmērīt, ir Smerka et al., (2006) anketas izmantošana ar 59 jautājumiem, kas aptver visus 15 motivējošos un higiēnas faktoros un apmierinātību (Smerek et al., 2006). Kopā ar citu ontoloģijas modeli uzrādīto elementu mērījumiem ir iespējams prognozēt darbinieku motivāciju, apmierinātību un palīdzēt noteikt problemātiskās jomas.

Apmierinātība ir trešā lielā uz tehnoloģijām balstītās komunikācijas apakšsadaļa. Aiziešanas nodoms (darbinieka vēlme pamest darbu) ir cieši saistīts ar apmierinātību ar darbu (Coomber et al., 2007; Steers et al., 2014; Yücel, 2012). Jaunu darbinieku pieņemšana darbā un apmācības var būt finansiāli ļoti neizdevīgs un laikietilpīgs process, tādēļ to ir ieteicams novērst un laicīgi prognozēt.

Šī ontoloģija uzskatāmi un ērti sagrupē faktoros, kas ietekmē uz tehnoloģijām balstītu komunikāciju tehnoloģiju izstrādātājiem vieglāk saprotamā formātā.

Lai veiktu izveidotajā ontoloģijā minēto faktoru analīzi, datu sintēzi un apstrādi, nepieciešams izvēlēties piemērotu un atbilstošu metodi. Būtisko faktoru atpazīšanai un rezultātu prognozēšanai efektīva metode ir mašīnmācīšanās algoritmu pielietošana. Mašīnmācīšanās algoritmi ne tikai dod iespēju identifikācijai un diagnostikai problēmu risinājumiem, bet arī sistēmas apmācībai un optimizācijai. Šo procesu analīze un sintēze palīdz lēmumu pieņemšanā un alternatīvu novērtēšanā un izvēlē.

1.3 Lielo datu un mašīnmācīšanās algoritmu izmantošana darbinieku uzvedības novērtēšanai

Lielo datu izmantošana dod iespēju gūt padziļinātu izpratni par dažādu faktoru attiecībām. Tas ļauj mums atrast jaunus datu modeļus, iekļaujot veiksmīgas manipulācijas metodes un datu analīzi. Agrāk lielākā daļa lēmumu (ieskaitot politiskos, militāros un personiskos) tika pieņemti bez paredzamas loģikas un tika balstīti uz subjektīviem empīriskiem pierādījumiem. Lielo datu izmantošana izraisīja izmaiņas šajā procesā un vairāk lēmumu tiek pieņemts, izmantojot algoritmus un precīzu loģiku. Dutcher (2014) raksta, ka, viņaprāt, tas vairāk attiecas uz šo izmaiņu izplatību nekā uz konkrētu datu apjomu (Dutcher, 2014).

Lai gan termina “lielie dati” lietošana nav pilnīgi skaidra un bieži tas tiek izmantots dažādiem mērķiem, tas ir saistīts ar datu analīzi, kas var atrisināt citādi haotiskus un sarežģītus datu punktus. Lielos datus raksturo to daudzums, datu saņemšanas ātrums un pieejamo datu daudzveidība. Parasti tas attiecas uz ievērojamu datu apjomu, kas relatīvi ātri iegūti no dažādiem avotiem. Tiek izveidoti rīki, lai ievāktu un analizētu lielu datu daudzumu un gūtu jaunus secinājumus. Tas var attiekties arī uz datu apakškopām. Dabiskās valodas apstrāde un meklētājprogrammas ar praktiskiem algoritmiem ir lielo datu tehnoloģiju piemēri, kurus bieži izmanto ar diezgan mazu datu daudzumu. Lielie dati apraksta jebkuru datu kopu, kas ir pietiekami liela, lai prasītu augsta līmeņa programmēšanas prasmes un statistikas metodes, lai datus pārsūtītu uz vērtībām. Dati, kas atspoguļo darbinieku uzvedību, ir ļoti jutīgi, un tos nav vienkārši apkopot lielos apjomos. Tā var būt problēma lielo datu aprēķiniem.

Datu īpašības var raksturot ar šādiem parametriem: vērtība, patiesums, mainīgums, dispersija un dzīvotspēja. Šīs īpašības raksturo lietošanu īpašos gadījumos un atsevišķu gadījumu īpašas vajadzības. Pieaugošā lielo datu glabāšanas un analīzes pieejamība ir ļāvusi organizācijām uzglabāt lielu datu apjomu par saviem procesiem, datu ievadi, klientiem un darbiniekiem. Organizācijas tagad var saglabāt datus un izmantot tos vēlāk problēmu risināšanai. Organizācijas, kuras ir glabājušas datus par savu darbinieku uzvedību un aiziešanu, var izmantot savus iepriekšējos datus algoritmu apmācībai un iegūt precīzākus aprēķinus nākotnē.

Datu zinātnei un ML ir potenciāls veikt precīzus aprēķinus un apmācīt algoritmus, lai nākotnē ievērojami uzlabotu sistēmu un vadības darbu. Uzņēmumi atšķirsies no daudziem aspektiem, piemēram, darbinieku kultūras, uzņēmuma kultūras, organizācijas veida un darbinieku attiecībām. Tas, kas der vienai organizācijai, var nederēt citai. Tehnoloģijām jāspēj pielāgoties.

Izmantojot lielos datus, organizācijas var izvirzīt mērķi prognozēt nākotnes situācijas, optimizēt savus procesus un darboties produktīvāk un racionālāk. Mērķis var būt pārvaldība labākai lēmumu pieņemšanai un resursu sadalei. Ir skaidrs, ka, lai izmantotu šo milzīgo resursu, ir jāizveido precīzi un labi izstrādāti algoritmi. Šī darba ietvaros tiek risināti augstākminētie uzdevumi, izmantojot mašīnmācīšanās algoritmus.

Parasti mašīnmācīšanās algoritmus iedala uzraudzītas un neuzraudzītas mašīnmācīšanās kategorijās. Neuzraudzītas transformācijas datu kopas ir algoritmi, kas rada jaunu datu atspoguļojumu, kas cilvēkiem vai citiem mašīnmācīšanās algoritmiem varētu būt vieglāk saprotams. Galvenais izaicinājums neuzraudzītai mācīšanai ir novērtēt, vai algoritms ir iemācījies kaut ko noderīgu. Neuzraudzīti mācīšanās algoritmi parasti tiek lietoti datiem, kas nesatur nekādu informāciju par atribūtiem, tāpēc mēs nezinām, kādiem jābūt pareizajiem rezultātiem. Šī iemesla dēļ ir grūtāk pateikt, vai modelim “veicas labi”. Neuzraudzīti algoritmi tiek bieži izmantoti izpētes apstākļos, kad datu zinātnieks vēlas labāk izprast datus kopumā, nevis kā daļu no lielākas automatiskās sistēmas. Vēl viens izplatīts neuzraudzītu algoritmu pielietojums ir pirmapstrādes posms uzraudzītiem algoritmiem. Apgūstot jaunu datu attēlojumu, dažkārt var uzlabot uzraudzīto algoritmu precizitāti vai samazināt atmiņas un laika patēriņu (Müller et al., 2016).

Uzraudzīta mašīnmācīšanās ir viens no visbiežāk izmantotajiem un veiksmīgākajiem mašīnmācīšanās veidiem. Uzraudzīta mācīšanās tiek izmantota ikreiz, kad ir vēlme paredzēt noteiktu rezultātu no konkrētās datu ievades, kā arī ir piemēri ievades un izvades pāriem. No

šiem ievades un izvades pāriem tiek veidoti mašīnmācīšanās modeļi, kas ietver apmācību komplektu. Mērķis ir precīzi prognozēt jaunus, vēl neredzētus datus. Sākotnēji uzraudzīta mācīšanās bieži prasa manuālu cilvēka darbu. Tas nepieciešams, lai izveidotu apmācību komplektu, bet pēc tam to automatizē un bieži paātrina citādi darbietilpīgu vai neiespējamu uzdevumu (Müller et al., 2016).

Ņemot vērā darbinieku uzvedības datu specifiku un to, ka datu ievākšanas rezultātā ir zināmi pētāmie atribūti, šāda tipa problēmu risināšanai tiek izmantoti uzraudzīti mašīnmācīšanās algoritmi. Literatūrā ir minēti dažādi piemēri, kā pētīt darbinieku uzvedību, izmantojot dažādus mašīnmācīšanās algoritmus. Tabulā 1.4. ir apkopoti pētījumi, uzskaitot aplūkoto problēmu un testētos algoritmus, kā arī nosaukti algoritmi, kuri uzrādījuši augstāko precizitāti šo problēmu risināšanā.

1.4. tabula

Literatūras pārskata secinājumu kopsavilkums darbinieku uzvedības novērtēšanai, izmantojot mašīnmācīšanās algoritmus.

Pētījuma autori	Pētījuma priekšmets	Apskatītās tehnikas	Ieteiktā metode
Punnoose and Ajit (2016)	Kadru mainības paredzēšana	LDA, KNN	XGBoost
Sisodia, Vishwakarma and Pujahari (2017)	Kadru mainības paredzēšana	SVM, Decision Tree Classifier, Random Forest, KNN, Naive Bayes	Random Forest
Alao and Adeyemo (2013)	Kadru mainības paredzēšana	C4.5 and C5 Decision Tree, REPTree, CART	C5 Decision Tree
Jantan, Hamdan and Othman (2011)	Darbinieku sniegums un talantu paredzēšana	C 4.5 Decision Tree, Random Forest, Multilayer Perceptron (MLP), Radial Basis Function network	C 4.5 Decision Tree
Nagadevara, Srinivasan and Valk (2008)	Darbinieku uzvedības (kavēšana, neierašanās darbā, darba saturs, ilgums un demogrāfija) ietekme uz kadru mainību	ANN, Logistic Regression, CART, Classification Trees (C5.0), Discriminant Analysis	Classification and Regression Trees (CART)
Hong, Wei and Chen (2007)	Kadru mainības paredzēšana	Logistic Regression (logit), Probability Regression Model (probit)	Logistic Regression (logit)
Kane-Sellers (2007)	Kadru mainības paredzēšana	Bionomial logit regression	Bionomial logit regression
Saradhi and Palshikar (2011)	Kadru mainības paredzēšana	Naive Bayes, SVM, Logistic Regression, Decision Trees and Random Forest	Support Vector Machines (SVM)
Pratt et al. (2021)	Kadru mainības paredzēšana	Logistic Regression, Random Forest, Gaussian NB, Decision Tree Classifier, KNN and SVM	Random Forest

Populārākie aplūkotie darbinieku uzvedības prognozēšanas modeļi ir Loģistiskā regresija, Lēmumu koku klasifikators, Izlases mežs, Atbalsta vektoru mašīnas (SVM) un K-tuvāko kaimiņmetode (KNN). Pētījuma jomas svārstās no kadru mainības prognozēšanas līdz konkrētākas darbinieku uzvedības prognozēšanai. Nav viena viedokļa par to, kura tehnika ir labākā. Rezultāti var atšķirties dažādu iemeslu dēļ, piemēram, pieejamo datu kopu vai analizētās informācijas veida dēļ. Rezultāts par rekomendējamo metodi katrā pētījumā atšķiras, kā parādīts 1.4 tabulā.

Papildus tam Chanda et al., (2019) pētījuši Naivā Beisa algoritma modeļa darbību ar darbinieku apmierinātības, lojalitāti un snieguma datiem kā arī meklējuši sakarības starp šiem faktoriem (Chanda et al., 2020). Dažādi autori ir pētījuši ML algoritmu pielietojumu izmantojot *Kaggle* repozitorija IBM datu kopu (Kaggle, 2017). Šajā datu kopā pieejami dati par uzņēmuma darbiniekiem un izmantojot ML tehnikas autori pētījuši kadru mainības

ietekmējošos faktoros un testējuši dažādu algoritmu darbību (Alaskar et al., 2019; Bhuvu et al., 2018; Fallucchi et al., 2020; Jain et al., 2018; S. Yang et al., 2020). Šo pētījumu rezultātu salīdzinājums ar autores veikto pētījumu apskatāms nodaļā 4.3.2. un tabulā 4.7.

Šajā pētījumā izmantoti uzraudzītas mašīnmācīšanās algoritmi. Populārākie un piemērotākie algoritmi tiks izklāstīti nodaļas turpinājumā.

Lineārie modeļi ir modeļu klase, kas tiek plaši izmantota praksē, un pēdējās desmitgadēs ir plaši pētīta. Šī modeļa pirmsākums meklējams vairāk nekā simts gadu senā pagātnē. Lineāros modeļus var ļoti ātri apmācīt, kā arī ātri prognozēt. Tie tiek mērogoti līdz ļoti lielām datu kopām un apstrādā retus datus (Müller et al., 2016). Divi visizplatītākie lineārās klasifikācijas algoritmi ir loģistiskā regresija un lineārās atbalsta vektoru mašīnas (lineārās SVM). Neskatoties uz nosaukumu, Logistic Regression (Loģistiskā regresija) ir klasifikācijas algoritms, nevis regresijas algoritms, un to nevajadzētu sajaukt ar Linear Regression (Lineārā regresija) (Müller et al., 2016).

Atbalsta vektoru mašīna (Support Vector Machine (SVM)) paredzēta diskriminācijas un regresijas problēmu risināšanai. Atbalsta vektoru mašīna ir lineāru klasifikatoru paplašinājums, kas ļauj veidot sarežģītākus modeļus (Müller et al., 2016). Atbalsta vektoru mašīnu veikspēja ir tādā pašā secībā vai pat labāka nekā neironu tīkla vai Gausa sajaukuma modeļa veikspēja (Yang et al., 2012).

Atbalsta vektoru mašīnas ir ļoti precīzi modeļi, un tās labi darbojas dažādās datu kopās. SVM pieļauj ļoti sarežģītas lēmumu robežas, pat ja datiem ir tikai dažas iezīmes. SVM labi darbojas ar zemas un augstas dimensijas datiem (t.i., maz un daudz funkciju), taču nav īpaši labi mērogojami ar paraugu skaitu. Darbošanās ar datiem, kuru paraugi ir līdz 10 000, varētu veikties labi, taču darbs ar datu kopām, kuru lielums ir 100 000 vai vairāk, var kļūt sarežģīts izpildlaika un atmiņas izmantošanas ziņā (Müller et al., 2016).

Vēl viens SVM trūkums ir tas, ka tiem nepieciešama rūpīga datu pirmapstrāde un parametru pielāgošana. Šī iemesla dēļ SVM daudzās lietojumprogrammās ir aizstāti ar uz kokiem balstītiem modeļiem, piemēram, Izlases mežiem (kuriem nepieciešama neliela iepriekšēja apstrāde vai nav nepieciešama vispārēja apstrāde). Turklāt SVM modeļus ir grūti pārbaudīt; var būt grūti saprast, kāpēc izteikta konkrēta prognoze, un modeļa izskaidrošana neekspertam var būt sarežģīta (Müller et al., 2016).

Loģistiskā regresija ir viens no visbiežāk izmantotajiem daudzveidīgās analīzes modeļiem. Loģistiskā regresija ir uzraudzīts mācību klasifikācijas algoritms, ko izmanto, lai prognozētu mērķa mainīgā varbūtību. Mērķa vai atkarīgā mainīgā daba ir divējāda, tas nozīmē, ka būtu

tikai divas iespējamās klases. Šo paredzēšanas tehniku izmanto, ja ir skaidri jānošķir respondenti pēc mērķa kategorijām. Šis modelis ļauj iepriekš noteikt / izskaidrot kvalitatīvā mērķa mainīgā vērtības (visbiežāk bināras, ja tai ir vairāk nekā divas modalitātes, tad tā ir multinomiālā loģistiskā regresija) no kvantitatīvo vai kvalitatīvo skaidrojošo mainīgo kopuma (Gutiérrez et al., 2010). Vienkārši sakot, atkarīgais mainīgais pēc būtības ir binārs, un tā dati ir kodēti kā 1 (nozīmē panākumus / jā) vai 0 (apzīmē neveiksmes / nē). Matemātiski loģistiskās regresijas modelis paredz $P(Y = 1)$ kā funkciju X . Tas ir viens no vienkāršākajiem ML algoritmiem, ko var izmantot dažādām klasifikācijas problēmām, piemēram, surogātpasta noteikšanai, diabēta prognozēšanai, vēža noteikšanai utt. (Tutorials Point, 2021).

Naivā Beisa klasifikatori (Gaussian NB-Naive Bayes Classifier) ir klasifikatoru saime, kas ir diezgan līdzīga lineārajiem modeļiem. Modeļa apmācības fāzē tie mēdz būt vēl ātrāki, tomēr Naivā Beisa modeļi bieži nodrošina sliktāku vispārināšanas veiktspēju nekā lineāri klasifikatori, piemēram, Loģistiskā regresija un SVC. Šī ir vienkārša un labi izpildāma klasifikācijas tehnika. Šai tehnikai nav nepieciešams liels datu paraugs. Tas veic klasifikāciju, pamatojoties uz varbūtībām ar pieņēmumu, ka šie mainīgie ir nosacīti neatkarīgi viens no otra (Punnoose et al., 2016). Tiek apgūti parametri, aplūkojot katru funkciju atsevišķi, un no katras funkcijas tiek apkopota vienkārša statistika par klasi (Müller et al., 2016).

Naivā Beisa modeļus var ļoti ātri apmācīt un paredzēt, tāpat arī apmācības procedūra ir viegli saprotama. Modeļi labi darbojas ar augstas dimensijas retiem datiem un ir samērā izturīgi pret parametriem. Naivā Beisa modeļi ir lieliski bāzes modeļi, un tos bieži izmanto ļoti lielās datu kopās, kur pat lineārā modeļa apmācība var aizņemt pārāk ilgu laiku (Müller et al., 2016).

K-tuvāko kaimiņu metode (K-Nearest Neighborhoods (KNN)), iespējams, ir vienkāršākais mašīnmācīšanās algoritms. Modeļa izveide sastāv tikai no apmācības datu kopas glabāšanas. Lai veiktu prognozi jaunam datu punktam, algoritms mācību datu kopā atrod tuvākos datu punktus, tas ir “tuvākos kaimiņus” (Müller et al., 2016). Var pieņemt, ka mācību datu bāze sastāv no N “ievades-izvades” pāriem. Lai novērtētu izvadi asociētu ar jaunu ievadi, KNN metode ņem vērā K -apmācības paraugus, kuru ievade ir vistuvāk jaunajai ieejai x , atbilstoši definētajam attālumam (Lu et al., 2015).

Viena no K -tuvāko kaimiņu stiprajām pusēm ir tā, ka modeli ir viegli saprast, un tas bieži sniedz saprātīgu sniegumu bez daudziem pielāgojumiem. K -tuvāko kaimiņu izmantošana ir laba bāzes metode, kuru izmēģināt, pirms tiek apsvērti sarežģītāki paņēmieni. K -tuvāko

kaimiņu modeļa veidošana parasti notiek ātri, taču, ja apmācību kopa ir ļoti liela (vai nu pēc atribūtu skaita, vai pēc ievākto datu skaita), prognozēšana var būt lēna (Müller et al., 2016). K-tuvākie kaimiņi bieži nedarbojas labi datu kopā ar lielu skaitu atribūtiem, jo īpaši ar retām datu kopām. Kaut arī K-tuvāko kaimiņu algoritms ir viegli saprotams, praksē to bieži neizmanto, jo prognozēšana ir lēna un tā nespēj apstrādāt daudzas funkcijas (Müller et al., 2016).

Lēmumu koki (Decision Trees) ir plaši izmantoti klasifikācijas un regresijas uzdevumu modeļi, ko izmanto klasificēšanai, kārtojot un pamatojoties uz pazīmju vērtībām (Alao et al., 2013). Būtībā tie apgūst jautājumu “ja citādi” (“if-else”) hierarhiju, kā rezultātā tiek pieņemts lēmums. Lēmuma koks nosaka jautājumu secību, kas mūs visātrāk noved pie patiesās atbildes. Lai izveidotu koku, algoritms meklē visus iespējamus testus un atrod to, kas ir visinformatīvākais par mērķa mainīgo.

Iegūto modeli var viegli vizualizēt un saprast nespeciālisti (vismaz mazākiem kokiem). Šie algoritmi nav atkarīgi no datu mērogošanas. Tā kā katrs atribūts tiek apstrādāts atsevišķi un iespējamā datu sadalīšana nav atkarīga no mērogošanas, lēmumu koku algoritmiem nav nepieciešama priekšapstrāde, piemēram, funkciju normalizēšana vai standartizācija.

Lēmumu koki darbojas labi, ja ir atribūti, kas atrodas pilnībā dažādos mērogos, vai arī ir bināru un nepārtrauktu atribūtu kombinācija.

Galvenais lēmumu koku trūkums ir tas, ka, pat izmantojot iepriekšēju atzarošanu, lēmuma koki mēdz pārspīlēt un nodrošina sliktu vispārināšanas sniegumu (Müller et al., 2016).

Šī iemesla dēļ lielākajā daļā lietojumu ansambļa metodes parasti tiek izmantotas viena lēmuma koka vietā. Ansambļi (Ensembles) ir metodes, kas apvieno vairākus mašīnmācīšanās modeļus, lai izveidotu jaudīgākus modeļus. Ir divi ansambļu modeļi, kas ir izrādījušies efektīvi plašā klasifikācijas un regresijas datu kopu klāstā, un kā pamats abos tiek izmantoti lēmumu koki: Izlases meži un Greidentu paātrinātu lēmumu koki (Random Forests and Gradient Boosted Decision Trees).

Izlases/gadījuma/nejaušs mežs (Random Forest) algoritms veic apmācību vairākiem lēmumu kokiem, kas apmācīti uz neredz atšķirīgām datu apakškopām (Liu et al., 2019). Ja pieņem, ka katrs no klasifikatoriem ansablī ir lēmumu koku klasifikators, tad klasifikatoru kopa būtu “mežs”. Atsevišķi lēmumu koki tiek ģenerēti, izmantojot nejaušu atribūtu atlasi katrā mezglā, lai noteiktu sadalījumu. Katrs koks ir atkarīgs no nejauša vektora vērtībām, kas atlasītas neatkarīgi un ar vienādu sadalījumu visiem meža kokiem. Klasifikācijas laikā katrs koks “balso” un tiek izvēlēta populārākā klase (Han et al., 2011).

Galvenais lēmumu pieņemšanas koku trūkums ir tas, ka tie mēdz pārklāt apmācības datus. Izlases meži ir viens no veidiem, kā risināt šo problēmu. Izlases meži būtībā ir lēmumu koku kolekcija, kur katrs koks nedaudz atšķiras no citiem. Izlases mežu ideja ir tāda, ka katrs koks var veikt samērā labu prognozēšanas darbu, bet, iespējams, pārklās daļu datu (Müller et al., 2016). Būvējot daudz kokus, kas visi labi darbojas un dažādos veidos pārklājas, var samazināt pārklāšanās apjomu, vidēji novērtējot to rezultātus. Šo pārklāšanās samazinājumu, saglabājot koku paredzamo spēku, var parādīt matemātiskiem aprēķiniem (Müller et al., 2016). Jāveido daudz lēmumu koku. Katram kokam jāveic labs darbs, prognozējot mērķi, un tam arī jāatšķiras no citiem kokiem. Nejausie jeb Izlases meži ieguvuši savu nosaukumu ievadot nejausības aspektu tā uzbūvē, tādā veidā tiek nodrošināts, ka katrs koks ir atšķirīgs. Ir divi veidi, kā nejausā mežā esošie koki tiek randomizēti: atlasot datu izveidošanai izmantotos datu punktus un izvēloties pazīmes katrā sadalīšanas testā (split test).

Izlases meži ir vieni no visbiežāk izmantotajām mašīnmācīšanās metodēm regresijai un klasifikācijai. Tie ir ļoti precīzi, bieži darbojas labi, bez intensīvas parametru noregulēšanas, un tiem nav nepieciešama datu mērogošana. Būtībā Izlases mežiem ir kopīgi visi lēmumu koku ieguvumi, vienlaikus kompensējot dažus to trūkumus.

Izlases meži parasti nedarbojas labi darbā ar ļoti lieliem, retiem datiem, piemēram, teksta datiem. Šāda veida datiem varētu būt piemērotāki lineārie modeļi.

Izlases meži parasti labi darbojas pat ļoti lielās datu kopās. Tomēr Izlases mežiem ir nepieciešama lielāka atmiņa, un to apmācība un paredzēšana ir lēnāka nekā lineārie modeļi. Ja lietojumprogrammā ir svarīgs laiks un atmiņa, varētu būt lietderīgi tā vietā izmantot lineāru modeli. Papildus Izlases mežu tehniskās specifikācijas un formulas atrodamas 4.3. nodaļā. 4. nodaļas ietvaros tiks analizēti un salīdzināti dažādu algoritmu efektivitātes rādītāji uz divām dažādām datu kopām, diagnosticējot piemērotāko algoritmu pētījuma jautājuma atbildēšanai un ontoloģijā minēto faktoru (attēls 1.5) analīzes efektīvākajam risinājumam.

Šajā nodaļā tika iztirzātas galvenās teorijas par darbinieku motivēšanu, virtuālo komandu vadību un attālinātu darbu, izmantojot informāciju un komunikāciju sistēmas. Autore secinājusi, ka ir iespējams sazināties, izmantojot tehnoloģijas, un motivēt darbiniekus ar tādu pašu efektivitāti kā klātienē saziņā (Pratt et al., 2021). Tādejādi, lai to panāktu, ir svarīgi izprast iesaistītos faktoros. Tiek prezentēts autores izstrādāts teorētiskais konceptuālais modelis IKT izmantošanai motivācijas un apmierinātības veicināšanai, un modeļa izstrādes ontoloģija. Šī ontoloģija (attēls 1.5) uzskaita faktoros, kas ietekmē uz tehnoloģijām balstītu komunikāciju, un piedāvā apakškatērijas. Nodaļas beigās ir aprakstīti esošie IKT

risinājumi uzņēmuma iekšējai komunikācijai un mašīnmācīšanās līdzšinējie pētījumi līdzīgu problēmu risināšanai. Šobrīd nav pieejama viena ideālā sistēma, lai savienotu visus faktoros, kuri lielākoties atrodami atsevišķi dažādās platformās – efektīvas komunikācijas funkcionalitāti, darbinieku motivāciju un iesaisti, regulāru darbinieku motivācijas un apmierinātības izvērtēšanu, analīzi, socializēšanās iespējas, ērtu administrēšanu un augstākā līmeņa drošības aspektu. Ir pieprasījums pēc šādas sistēmas, kura apkopo dažādās šķautnes un ietver gan funkcionalitāti, gan rūpes par darbinieku apmierinātību, iesaisti un produktivitāti. Motivācija kā koncepts netiek pieminēta sistēmu piedāvājumos.

Minēto sistēmu funkcionalitāte ir laba, bet nav pietiekama, lai vadītājs pārvaldītu darbinieku motivāciju, apmierinātību ar darbu, un ar mašīnmācīšanās tehniku palīdzību mērītu un analizētu kadru mainību. Populārākie aplūkotie darbinieku uzvedības prognozēšanas mašīnmācīšanās modeļi ir Loģistiskā regresija, Lēmumu koku klasifikators, Izlases mežs, Atbalsta vektoru mašīnas (SVM) un K-tuvāko kaimiņmetode (KNN).

2. SOCIOTEHNISKAS SISTĒMAS UN UZŅĒMUMA MODELĒŠANAS METODE

Pirmais aptverošais sociotehnisko metožu pielietojums ticis fiksēts 1940./1950. gados. Tika pētīta rūpnīcu konveijeru darbība Travistokas Institutā Britu ogļrūpniecībā (Morris, 2009; Trist, 1981). Lai arī mehanizācija uzlabojās, produktivitāte neuzlabojās un galvenās problēmas bija saistītas ar cilvēkresursiem. Šis bija brīdis, kad pirmo reizi tika pielietotas sociotehniskas sistēmas. Tika atrasts veids, kā strādāt augstas mehanizācijas apstākļos un atgūt grupu vienotību darba procesā. Uzlabojās personīgā nodošanās darbam, samazinājās darba kavēšanas līmenis, bija zems negadījumu skaits un augsta produktivitāte (Trist, 1981). Šis pētījums atklāja, ka darba efektivitāte ir tieši saistīta ar cilvēkfaktoru un fizisko resursu balansu (Morris, 2009). Tika secināts, ka sociālās un cilvēku vajadzības agrīnajās rūpnīcās nebija līdzsvarā ar šo organizāciju tehnoloģiskajām iespējām. Šis bija sākums jaunai darba organizācijas praksei ar līdzsvaru starp sociālajām un tehniskajām prasībām.

Šī jaunā paradigma paredzēja izmaiņas tam, kā tika aplūktas darba organizācijas. Inženieri radīja tehnoloģijas, kuras tika pieprasītas no tehnoloģiju viedokļa. Netika apsvērta, kā tas ietekmēs personāla izmaksas (Trist, 1981). Arī mūsdienās ir sastopama šī problēma. Sociotehniskas sistēmas bija un ir solis, lai šīs divas jomas savestu kopā un papildinātu.

Pamatoti pirmie pētījumi apskatīja un fokusējās uz tādām jomām kā darbinieku motivācija, apmierinātība, kā arī normas un vērtības. Joprojām šīs jomas ir svarīgs, bet sarežģīts koncepts, kuru tehnoloģiju izstrādātāji reti ņem vērā izstrādes procesā. Sociotehniskajos pētījumos Hercberga divu faktoru teorija tika izmantota, lai izprastu indivīdu psiholoģiskās prasības viņpus ierastajiem darbinieku kontrakta rāmjiem (Trist, 1981). Arī mūsdienās Hercberga teorija tiek izmantota kā motivācijas koncepta pamats.

Vēstures gaitā sabiedrība ir gājusi cauri izmaiņām vērtību sistēmā; mainījies ir arī tas, ko varam sagaidīt no savām darba lomām. Līdz ar to rodas izmaiņas organizāciju dizaina parametros. Turpretī izmaiņas tehnoloģijās maina vērtības, kognitīvo struktūru, dzīvesveidu, ieradumus un komunikāciju. Sociotehniskais fenomēns ir gan kontekstuāls, gan organizatorisks (Trist, 1981).

2.1 Sociotehnisku sistēmu būtība un raksturojums

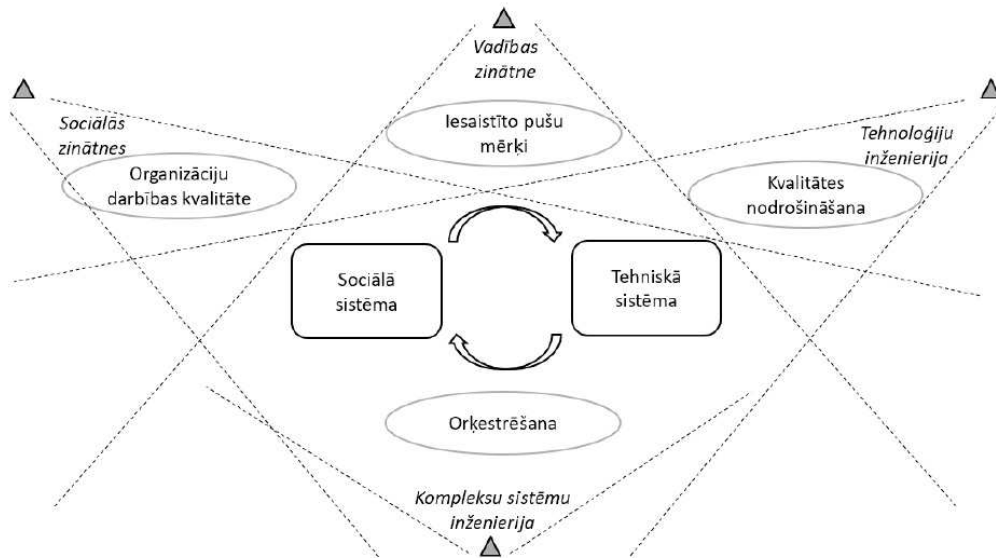
Pirmie sociotehnisko sistēmu pētījumi meklēja jaunas organizāciju formas, kuras varētu funkcionēt ar jaunajām tehnoloģiskajām sistēmām. Sociotehnisku sistēmu pētījumi dod iespēju saprast sarežģītus ceļus, kuros cilvēki darbā sadarbojas un lieto instrumentus un tehnoloģijas, lai paveiktu savu kolektīvo darbu.

Efektīva sistēma ir tāda, kura var pielāgoties ārpuslaimes turbulences un tie ir cilvēki savās darba pozīcijās, kuri veic lielāko adaptēšanos (Eason, 2010). Svarīgs jautājums ir – vai cilvēku lietotās tehnoloģiskās sistēmas ir spējīgas atbalstīt šo adaptēšanos. Ja tehnoloģija nav elastīga, tas var radīt šķēršļus adaptīvai uzvedībai. Globālā pandēmija 2020. gadā spilgti pasvītēja šī jautājuma nozīmīgumu un aktualitāti.

Sociotehniskas sistēmas ir sistēmas, kuras ietver kompleksu mijiedarbību starp cilvēku, mašīnu un vides aspektiem darba sistēmā (Baxter et al., 2011). Šo aspektu mijiedarbība ir virzīta uz organizācijas produktu vai servisu radīšanu. Šie trīs faktori ir sociotehnisko sistēmu mācības pamats. Sociotehniskais dizains ir virzīts uz strukturizēšanas metožu meklēšanu ar mērķi panākt, ka sociālās sistēmas kļūtu pašorganizējošas (Morris, 2009).

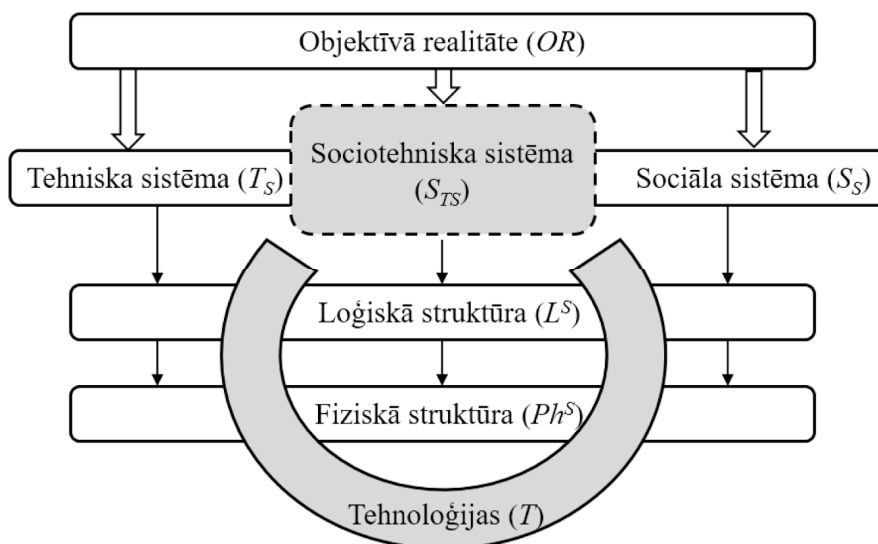
Kompleksu sistēmu inženieri strādā ar lokālajiem kontekstiem, lai ar to palīdzību virzītos uz globālajiem organizācijas mērķiem. Šī centralizētā pieeja ir vērsta uz adaptīvu tehnoloģiju sistēmu izveidi, kuras atbalsta un piedalās cilvēku lēmumu pieņemšanā, darba uzdevumos un komunikāciju kritērijos kā autonoma skaitļošanas sistēma (Morris, 2009). Sociālie zinātnieki un sociotehniskie dizaineri sākumā apsver sociālo sistēmu un tad tehniskās sistēmas, uzvaru liekot uz darba dzīves kvalitāti (Morris, 2009). Cilvēki ir neparedzami un tie ir jāuzrauga, ieviešot kontroles mehānismus. Tehniskajiem un cilvēku faktoriem tehnoloģiju dizaina procesā būtu jābūt līdzsvarā (Mumford, 2006).

Iespējami dažādi skatpunkti – sociālo zinātnieku, tehnoloģiju inženieru, organizāciju zinātnieku, dizaineru un kompleksu sistēmu inženierijas skatpunkti. Šīs disciplīnas pārstāv starpdisciplinārus pētījumus sociālajās zinātnēs, vadības zinātnē, tehnoloģiju inženierijā un kompleksu sistēmu inženierijā (attēls 2.1) (Aizstrauta, 2018).



2.1. att. Galvenās sociotehniskas sistēmas komponentes (Aizstrauta, 2018).

Sociālie zinātnieki izmanto sociotehniskas sistēmas, lai uzlabotu darba dzīves kvalitāti šajā sistēmā (Mumford, 2006). Inženieri fokusējas uz kvalitatīvu tehnoloģisko sistēmu izveidi. Organizācijas zinātnieki apskata centralizētus jautājumus, piemēram, sasniegt tādus mērķus kā efektivitāti un peļņu, veidojot piemērotus organizatoriskos kontraktus. Tas var ietvert organizācijas struktūras un hierarhijas organizēšanu sociālajām sistēmām, labākās tehnoloģiskās sistēmas atbalsta iegūšanu, pareizo cilvēku noalgošanu (Cherns, 1987). Tehnoloģiskās sistēmas parasti ir slēgtas un noteiktas, turpretī sociālās sistēmas ir atvērtas un stohastiskas (Ginters et al., 2018). Tehnoloģijas ir loģiskās un fiziskās struktūras izpausmes forma (attēls 2.2) (Aizstrauta, 2018). Loģiskā struktūra ietver vadlīnijas, algoritmus, noteikumus un personalizē konkrēto sistēmu, bet fiziskā struktūra ietver aparatūru un programmatūru, kas veic loģiskās struktūras uzdevumus (Ginters et al., 2017). Fiziskā struktūra ir vide, kurā ieviest loģisko struktūru (Ginters et al., 2017). Jaunas tehnoloģijas rodas kā inženierzinātņu un sociālo zinātņu apvienojuma rezultāts. Ja sociālās zinātnes netiks ņemtas vērā, tad tehnoloģijai nebūs perspektīvas. Šobrīd tehnoloģiju attīstības dzinējspēks ir sabiedrības vajadzības.



2.2. att. Sistēmu arhitektūra – no objektīvās realitātes līdz tehnoloģijai (Aizstrauta, 2018).

Novērojot un pētot, pētnieki iegūst priekšstatu par likumsakarībām un reālās dzīves vienkāršotu sistēmu ievieto modeļa formātā. Sociālie faktori (darbinieki, lietotāji un vide) ir diskutabli. Tehnoloģisko specifiku sarežģītības dēļ šie faktori parasti tiek ignorēti. Baxter un Baxter et al., (2011) saka, ka lielu un kompleksu sistēmu nespēja sasniegt termiņus, izmaksas un īstenot ieinteresēto personu gaidas nav tehnoloģiska neveiksme, bet gan nespēja atpazīt sociālās un organizatoriskās vides komplicēto dabu, kurā šīs sistēmas ir izvietotas (Baxter et al., 2011). Tādejādi sociālajam kontekstam un organizācijas fonam būtu jābūt programmatūru un sistēmu inženierijas priekšplānā. Galvenās iezīmes veiksmīgām sociotehniskām sistēmām ir šādas (Baxter et al., 2011):

- tām ir patstāvīgas sadaļas;
- tās spēj pielāgoties izmaiņām vidē, lai sasniegtu mērķus;
- tām ir iekšējā vide un arī reālās pasaules vide;
- tās ir atsevišķas, bet savstarpēji atkarīgas tehniskās un sociālās subsistēmas;
- tās darbojas vidē, kurā ir izvēļu un lēmumu iespējas;
- tām ir kopīga sistēmas optimizācija un tās ir atkarīgas no katras apakšsistēmas optimizācijas.

Mūsdienās sociotehnisku sistēmu inženierija kompleksu sistēmu gadījumos kalpo kā veids, kurā inženieri un ieinteresētās personas var ņemt vērā sociālo vidi sistēmas dizaina dzīves

cikla procesā (Morris, 2009). Tas ir īpaši nozīmīgi programmatūru inženierijā, lai novērstu programmatūru kļūdas, apzinot sociālo kontekstu un apsvērumus.

Sociotehnisku sistēmu inženierija ietver daudz dažādus aspektus un tādejādi aptver dažādas pētījumu nozares. Galvenās sociotehnisko pētījumu kopienas ir (Morris, 2009):

- darba un darba vietu dizaini;
- informāciju sistēmas;
- datoru atbalstīts korporatīvais darbs (*computer-supported cooperative work, CSCW*);
- kognitīvo sistēmu inženierija;
- cilvēku-datoru mijiedarbība (*human-computer interaction, HCI*);
- visuresoša skaitļošana.

Sociotehnisko sistēmu dizaina fundamentālais mērķis ir integrēt sociālās un tehniskās sistēmas subsistēmas (Eason, 2010). No IKT perspektīvas raugoties, sociotehniskās sistēmas balstās uz sociālās un tehniskās subsistēmas pamata (Morris, 2009). Šo subsistēmu attiecības ir cikliskas un savstarpēji atbalstošas. Sociālajām sistēmām vajadzīgas tehnoloģijas, lai veiktu uzdevumus. Savukārt tehniskās sistēmas ir atkarīgas no sociālo sistēmu pielietojuma to validācijai, kontrolei un citiem uzdevumiem, kur nepieciešami racionāli un zinoši darbinieki. Mūsdienās lielai daļai uzņēmumu sociotehniskais darba organizācijas dizains ir neatņemama sastāvdaļa tehniskajai sistēmai (Eason, 2010).

2.2 Modelēšanas būtība un uzņēmuma modelēšanas metode (EM)

Modeļiem ir svarīga loma IT un datorzinātnē, lai īstenotu dažādus mērķus. Uzlabojot uzņēmumus un veicot izmaiņas tajos, ir svarīgi saprast esošo situāciju un to, kāda ir realitāte. Šī patiesā realitāte var būt ļoti kompleksa un apskatīta no dažādām perspektīvām. Tomēr modelēšanas mērķis ir apskatīt tikai būtiskos aspektus šīs realitātes atspoguļošanai. Un šo realitātes atspoguļojumu sauc par modeli. Pēc šī atspoguļojuma veikšanas to var pielietot citiem mērķiem, tādiem kā analizēšana un izstrādāšana (Sandkuhl et al., 2014). Modeļi var definēt kā vispārinātu realitātes vai realitātes daļas attēlojumu, modelējot tiek ņemtas vērā tikai būtiskās reālās pasaules īpašības (Stachowiak, 1973).

Vispārējiem modeļiem ir trīs galvenās īpašības (Stachowiak, 1973):

- kartēšana: modeļi vienmēr ir reālu vai abstraktu oriģinālu kartējumi (attēlojumi), kas savukārt paši var būt modeļi;
- redukcija: modeļi satur tikai tos attiecīgā oriģināla atribūtus, kas attiecas uz modelētāju un paredzēto modeļa lietotāju;

- pragmatisms: modeļi pēc būtības netiek piešķirti konkrētam oriģinālam. Tos izmanto modeļi lietojošs subjekts noteiktā laika posmā un ievērojot noteiktas konceptuālas vai faktiskas darbības ierobežojumus.

Pats modeļu radīšanas un konstruēšanas process tiek dēvēts par modelēšanu. Pēc Bubenko (1992) vārdiem modelēšana būtībā nozīmē abstraktu vai konkrētu parādību kopas aprakstīšanu strukturētā un, visbeidzot, formālā veidā (Bubenko, 1992). Aprakstīšana, modelēšana un zīmēšana ir galvenās metodes, lai atbalstītu cilvēku izpratni, pamatojumu un saziņu.

Uzņēmumu modelēšanas (*enterprise modeling, EM*) joma kopumā ir saistīta ar metodēm un rīkiem organizāciju modelēšanai un potenciālo uzlabojumu atrašanai un sagatavošanai (Sandkuhl et al., 2014). Šos modeļus rada, lai vizualizētu struktūras un procesus un gūtu skaidrāku izpratni par esošo organizatorisko struktūru esošajiem procesiem. Šāda tipa vizualizācija palīdz aprakstīt esošo situāciju uzņēmumā, kā arī noskaidrot attiecības un atkarību starp dažādām organizācijas konstrukcijas daļām. Bieži vien šis ir pirmais solis, lai identificētu problēmas.

Uzņēmumu modelēšanu (*EM*) var aplūkot no dažādiem skatpunktiem un literatūrā atrodamas dažādas definīcijas. Skatpunkti, pēc kuriem var to aplūkot, atšķiras ar to, cik formālam ir jābūt modelim un kādiem mērķiem šo modeļi pielietos (Sandkuhl et al., 2014). Šī darba ietveros tiek izvēlēta Bubenko et al. (2001) definīcija, kura uzņēmumu modelēšanu saskata kā integrētu uzņēmuma modeļa izveides procesu, kas aptver attiecīgajam modelēšanas mērķim nepieciešamos uzņēmuma aspektus (Bubenko et al., 2001). Uzņēmums šajā kontekstā var būt privāts uzņēmums, valdības departaments, akadēmiska iestāde, cita veida organizācija vai tās daļa. Uzņēmuma modelis sastāv no vairākiem saistītiem apakšmodeļiem, no kuriem katrs koncentrējas uz konkrētu uzņēmuma aspektu, piemēram, procesiem, biznesa noteikumiem, jēdzieniem, informāciju, redzējumu, mērķiem un dalībniekiem. Uzņēmuma modelis apraksta uzņēmuma pašreizējo vai nākotnes stāvokli un ietver modelēšanas procesā iesaistīto ieinteresēto personu kopīgās uzņēmuma zināšanas. Īsumā tās ir tehnikas, metodes un rīki uzņēmumu modelēšanai, lai atrastu un sagatavotu potenciālos uzlabojumus. Tas ietver izaicinājumu atpazīšanu, to risināšanu un praktiskas vadlīnijas. Apskatot uzņēmumu no dažādām pusēm, vizualizācija var palīdzēt atpazīt problēmkonas.

Viena no galvenajām uzņēmumu modelēšanu iezīmēm ir tā, ka šīm vizualizācijām ir jābūt viegli saprotamām mērķauditorijai. Modeļa formalitāte nav tik būtiska, jo modeļi izmanto cilvēku auditorija, nevis tehniskās izpildierīces (Sandkuhl et al., 2014).

Lai sasniegtu precizitāti, ir vajadzīgi eksperti ar padziļinātām zināšanām par problēmas lauku.

Lai kalpotu konkrētam uzņēmumu modelēšanas darbības mērķim, vizualizācija var fokusēties uz dažādiem uzņēmuma skatpunktiem, piemēram, IT sistēmām, servisiem vai organizācijas struktūru.

Tipiskie uzņēmumu izaicinājumi un problēmas, kurus var risināt ar uzņēmumu modelēšanas palīdzību (Sandkuhl et al., 2014), ir:

1. izpratne par organizatoriskajām atkarībām,
2. pārmaiņu nepieciešamības atrašana,
3. biznesa procesu uzlabošana,
4. organizācijas stratēģijas un IT saskaņošana,
5. IT stratēģijas izstrāde.

Lai šos izaicinājumus risinātu, ir pieejamas dažādas perspektīvas (tabula 2.1.). Perspektīvas mudina modelētāju paskatīties uz uzņēmumu no noteikta skatpunkta un vadīt modelēšanas procesu tādā veidā, kas īpaši uztver un analizē konkrēto perspektīvu. Visas perspektīvas ir vienlīdz svarīgas, jo tās ļauj veidot visaptverošu priekšstatu par problēmas situāciju, risinājumiem un uzņēmumu kopumā.

2.1. tabula

Biznesa izaicinājumi un perspektīvas (Sandkuhl et al., 2014).

Biznesa izaicinājumi	Vadošā perspektīva	Papildinošās perspektīvas
Saprast organizatoriskās atkarības	Organizācijas struktūra	Biznesa procesi, produkti, biznesa noteikumi, tehniskie komponenti
Atrast nepieciešamību pēc izmaiņām	Mērķi un problēmas	Jēdzieni, biznesa procesi, organizācijas struktūra, tehniskie komponenti
Uzlabot biznesa procesus	Biznesa procesi	Organizācijas struktūra, biznesa noteikumi, tehniskie komponenti, koncepcijas
Saskaņot organizācijas stratēģiju un IT	Mērķi un problēmas	Jēdzieni, biznesa procesi, tehniskie komponenti, organizācijas struktūra
Izstrādāt IT stratēģiju	Tehniskie komponenti	Jēdzieni, biznesa procesi, organizācijas struktūra

2.3 4EM modelēšanas metode

Laika gaitā radās vajadzība pēc *EM* metodes, kas aptver vairākas perspektīvas, ir atklāti pieejama un pārbaudīta. *EM* agrīnie darbi Skandināvijā bija *EM* pirmsākumi (Langefors, 1968), kam sekoja *ABSC* metode 1980 gados (Willars, 1988). Pagājušā gadsimta beigās tika izveidota *EKD* (Enterprise Knowledge Development) metode, kura sevī ietvēra dažādus uzņēmumu aspektus apakšmodeļos (Bubenko et al., 2001; Loucopoulos et al., 1997). “For Enterprise Modeling” (*4EM*) ir pamatos balstīta uz *EKD* metodes bāzes un ir tās paplašināta un uzlabota versija. Uzlabojumi sevī ietver apzīmējumu uzlabojumus, modelēšanas procedūras un projekta pieejas uzlabojumus, kā arī sīkāku informāciju par metožu pamatiem un paņēmieniem (Sandkuhl et al., 2014).

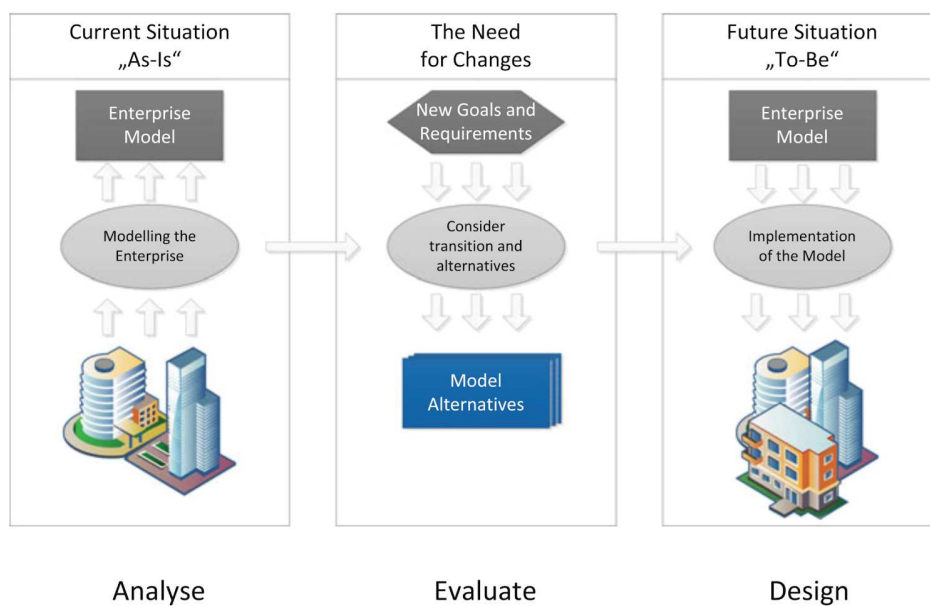
4EM ir metode, kas ļauj analizēt, izpētīt un dokumentēt uzņēmumu vai uzņēmuma daļu, kā arī tā struktūras un procesus modeļu veidā. Veidojot *4EM* modeli, bieži tiek iesaistītas dažādas organizācijas struktūras un pārstāvji, cieši strādājot kopā ar *4EM* metodes ekspertiem. *4EM* pielieto, lai uzzinātu informāciju un modelētu šādus jautājumus (Sandkuhl et al., 2014):

- Kā uzņēmums šobrīd darbojas?
- Kur pastāv problēmas vai izaicinājumi, kas prasa izmaiņas uzņēmums?
- Kādas ir prasības šīm izmaiņām?
- Kādas ir iespējas izpildīt šīs prasības?
- Kādus kritērijus un argumentus var izmantot, lai novērtētu šīs iespējas?

Lai šos jautājumus atbildētu, vairākumā projektu tiek veikti trīs soļi (attēls 2.3) (Sandkuhl et al., 2014):

1. Analizēšana – tiek modelēta pašreizējā situācija uzņēmumā (*AS-IS* modelis) un identificētas pamanāmās problēmas un vājās vietas.
2. Vērtēšana – iespējamie rīcības virzieni jāapspriež un jānovērtē, ņemot vērā faktisko situāciju ar tās problēmām un vājajām vietām, uzņēmuma pašreizējiem mērķiem un tirgus vides izaicinājumiem. Šajā novērtēšanas posmā ir arī ļoti svarīgi atklāt un izprast mērķu konfliktus un prioritātes, kā arī to ietekmi uz struktūrām un procesiem.

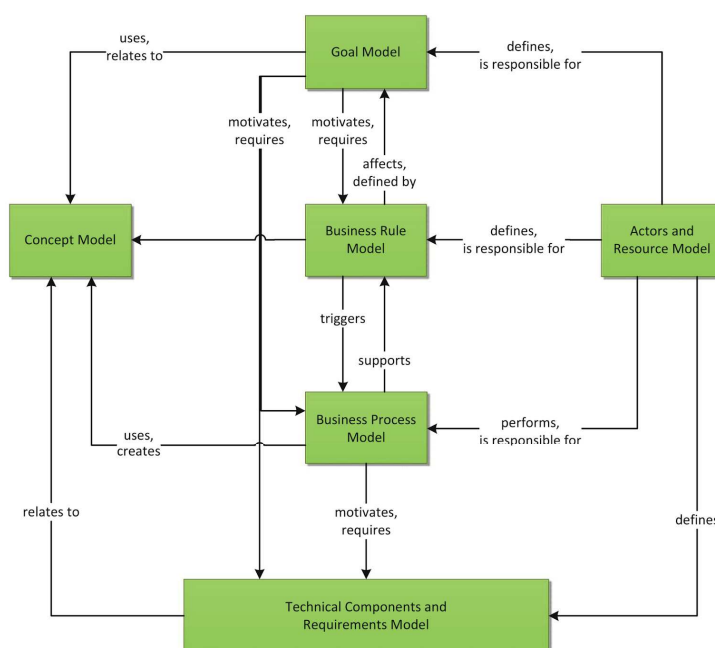
3. Projektēšana – tiek pētīti dažādi nākotnes scenāriji, izdomāta un modelēta nākotnes situācija, kas jāsasniedz uzņēmumā (TO-BE modelis). Mērķa situācija kalpo kā veicamo izmaiņu plāns vai specifikācija, kas var būt tīri organizatoriska rakstura vai ietvert IT balstītu risinājumu ieviešanu vai pārskatīšanu.



2.3. att. 4EM procesa galvenie soļi (Sandkuhl et al., 2014).

4EM modeļa plašais iespējamo pielietojumu klāsts un augstais abstrakcijas līmenis nodrošina to, ka mērķa modeļi paliek spēkā diezgan ilgu laiku, jo tie nav atkarīgi no ieviešanas metodes. Mērķa modeļa izmaiņas ir nepieciešamas tikai tad, ja to prasa uzņēmuma mērķi vai darbības, nevis tehnoloģisko izmaiņu ieviešanas gadījumā.

4EM metodē tiek izmantoti seši savstarpēji saistīti apakšmodeļi (attēls 2.4). Šie apakšmodeļi papildina viens otru un uztver dažādus uzņēmuma aspektus, kurus var uzskatīt arī par perspektīvām (Sandkuhl et al., 2014). Šie apakšmodeļi ir savstarpēji saistīti un šīs saistības tiek definētas.



2.4. att. 4EM metodes apakšmodeļi un to saistība (Sandkuhl et al., 2014).

Mērķu modeli (Goals Model) izmanto, lai aprakstītu uzņēmuma mērķus kopā ar jautājumiem, kas saistīti ar šo mērķu sasniegšanu. Mērķu modelis būtībā apraksta citu apakšmodeļu sastāvdaļu iemeslu vai motivāciju.

Biznesa likumu modelis (Business Rule Model) apraksta dažādus noteikumus un likumus, kuri attiecas uz uzņēmējdarbību un var ierobežot operācijas un mērķus. Biznesa likumi ir noteikumi, kas kontrolē uzņēmumu tādā veidā, ka tie nosaka un ierobežo darbības, kuras var veikt dažādās iespējamās situācijās.

Ar **konceptu/jēdzienu modeli** (Concepts Model) definē tos konceptus, kas ir minēti citos modeļos. Tas pārstāv uzņēmuma jēdzienus, atribūtus un attiecības. Koncepti tiek izmantoti, lai precīzāk definētu izpaušmes mērķu modelī, kā arī informācijas kopu saturu biznesa procesu modelī.

Ar **biznesa procesu modeli** (Business Processes Model) definē uzņēmuma procesus, šo procesu mijiedarbību un to, kā tiek apstrādāta informācija un materiāli. Ar šī modeļa palīdzību tiek izprasts, kādas aktivitātes un procesi ir vai būtu vajadzīgi organizācijā, lai uzņēmuma darbība būtu saskaņā ar tā mērķiem. Ar darba plūsmas, stāvokļa pārejas vai procesu modeļiem tiek atainots, kā būtu jāveic uzņēmuma procesi un uzdevumi un kāda informācija ir nepieciešama.

Darbinieku un resursu modelis (Actors and Resources Model) apraksta, kā dažādi dalībnieki un resursi ir saistīti viens ar otru, kā tie ir saistīti ar mērķu modeļa sastāvdaļām un biznesa procesu modeļa sastāvdaļām. Tas apraksta esošo vai nākotnes biznesa sistēmu ar

cilvēkresursiem un tehnoloģiskajiem resursiem. Var tikt izskaidrota atskaišu un atbildības struktūra starp darbiniekiem, kuri veic attiecīgos procesus un uzdevumus.

Tehnisko komponentu un prasību modelis (Technical Components and Requirements Model) tiek pielietots, ja *4EM* mērķis ir palīdzēt definēt informācijas sistēmas attīstības prasības. Uzmanība tiek koncentrēta uz tehnisko sistēmu, kas nepieciešama, lai atbalstītu uzņēmuma mērķus, procesus un dalībniekus. Tiek izstrādātas prasības vai mērķi informācijas sistēmai kopumā, pēc tam tiek veidotas subsistēmas un tehniskie komponenti. Šis modelis ir sākotnēja informācijas sistēmas vispārējās struktūras īpašību definēšana, kā arī esošās informācijas sistēmas un IT struktūras dokumentēšana. Ar šo modeli var precizēt, kādas ir prasības attīstāmajai informācijas sistēmai, kuras prasības rada biznesa procesi, kuras informācijas sistēmas un IT komponentus uzņēmums izmanto, kā arī to, kāds ir potenciāls jaunām informācijas un komunikācijas tehnoloģijām procesu uzlabošanai.

2.4 ARTSS metode

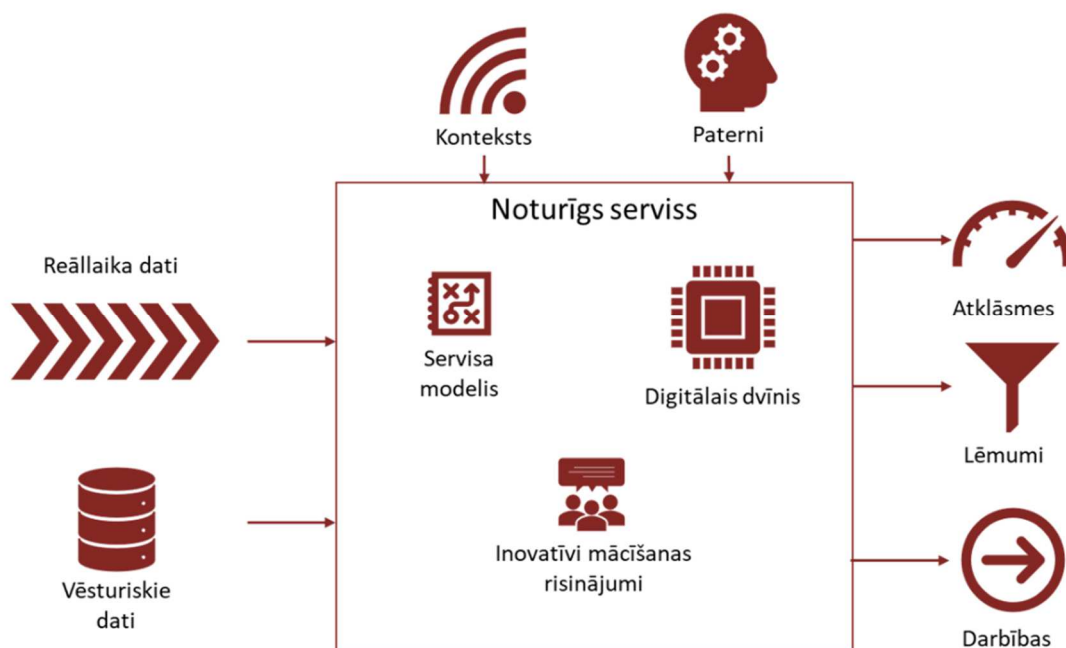
Lai krīzes situācijā varētu paļauties uz informācijas tehnoloģijām, ir vajadzība pēc drošiem un noturīgiem digitālajiem servisiem. Droši servisi nodrošina lietotāju datu aizsardzību, savukārt noturīgi servisi ir tādi, kuri spēj ātri atjaunot savu darbību ārkārtas notikumu gadījumā. Šādu servisu pakalpojumu nodrošināšanai ir izstrādāta spējorientēta *ARTSS* pakalpojumu projektēšanas un piegādes metode (*ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009*, 2020). *ARTSS* metode ir veidota uz *CDD* metodoloģijas bāzes (Henkel, et al., 2018). *ARTSS* specifiskās iezīmes ir (*ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009*, 2020):

1. ekosistēmas redzējums,
2. digitālā dvīņa izmantošana,
3. drošības un noturības mērķi,
4. mācīšanās atbalsts.

Šo metodi var pielāgot dažādu organizāciju un uzņēmumu vajadzībām, kā arī savienot ar izmantotajiem servisu inženierijas procesiem. Ar specifisku mērķu palīdzību spēju un servisu modelī tiek attēloti servisa drošības un noturības nodrošinājuma svarīgākie aspekti. Noturīgu un drošu servisu pamatā ir (2.5. attēls):

- digitālā dvīņa izmantošana, kas ļauj simulēt un kontrolēt servisa darbību krīzes situācijās;
- inovatīvi e-apmācības risinājumi, kas servisu lietotājiem dod iespēju apgūt servisu izmantošanas prasmes;

- zināšanu apmaiņa šablonu veidā ātrai zināšanu uzkrāšanai par krīzes seku pārvarēšanas risinājumiem.



2.5. att. ARTSS pieeja (ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009, 2020).

Drošu un noturīgu servisu izstrādes un nodrošināšanas vajadzībām ir izstrādāti septiņi ARTSS metodes komponenti (ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009, 2020):

1. spēju apzināšana – apskatīt un noteikt spējas, kas nepieciešamas uzņēmuma mērķu sasniegšanai mainīgos kontekstuālos apstākļos;
2. servisa definēšana – definēt spējas īstenošanai nepieciešamos programmatūras servissus, galveno vērību pievēršot servisiem, kas būtiski ietekmē kopējo spējas noturīgumu un drošību;
3. spējas definēšana – izstrādāt detalizētu modeli katrai spējai;
4. digitālā dvīņa projektēšana – lai nodrošinātu servisa drošības un noturības rādītāju pastāvīgu pārraudzību un servisa darbības regulēšanu, tam tiek izveidots digitālais dvīnis. Metodes komponenta mērķis ir definēt digitālā dvīņa projektēšanu atbilstoši spējas modelim;
5. šablonu identificēšana – jaunu šablonu identificēšana, analizējot spēju modeļus dažādiem lietošanas gadījumiem un instancēm;
6. šablonu izmantošana – drošu un noturīgu servisu nodrošināšana, problēmsituācijai piemērotu šablonu atrašana;

7. spēju ekosistēmas.

Pirmās komponentes “Spēju apzināšana” mērķis ir noteikt spējas, kas nepieciešamas uzņēmuma mērķu sasniegšanai mainīgos kontekstuālos apstākļos. Tiek veidots spēju sākotnējais modelis, izmantojot sešus jēdzienus: spēja, konteksta elements, mērāmais atribūts, mērķis, *KPI* un pielāgojums. Metodes process sastāv no vairākām aktivitātēm (*ARTSS VPP-COVID-2020/I-0009*, 2020):

1. spējas nosaukšana,
2. mērķu un konteksta elementu identificēšana – brīvā formā pievieno darbvirsmai atbilstošās piezīmju lapiņas,
3. mērķiem un konteksta elementiem pievieno atbilstošos *KPI* un mērāmos atribūtus, uzsverot nepieciešamību mērīt spējas nodrošināšanu un identificēt noderīgus datu avotus,
4. pielāgojumu identificēšana – norāda, kādā veidā ir iespējama spējas pielāgošana drošības un noturības apdraudējumu gadījumā,
5. sākotnējā modeļa revīzija.

Rezultātā tiek izstrādāta spēju karte, kurā katrai spējai ir definēti pamata komponenti, konteksta elementi, mērķi, *KPI* un pielāgojumi. Būtisks šī modeļa papildinājums ir digitālais dvīnis, kurš attēlo servisa nodrošināšanas tīklu, ļaujot to dinamiski pārraudzīt un simulācijas ceļā analizēt servisa noturību (*ARTSS VPP-COVID-2020/I-0009*, 2020).

2.5 Digitālie dvīņi

Digitālo dvīņu (*Digital twin, DT*) tehnoloģija ir metodika, kas ļauj autonomiem objektiem (produktiem, mašīnām utt.) sasaistīt savu procesu un uzvedības pašreizējo stāvokli mijiedarbībā ar vidi reālajā pasaulē (Yang et al., 2017). Digitālie dvīņi kļūst arvien populārāki, jo tiem ir būtiska ietekme uz plaisas mazināšanu starp fizisko un kiber pasauli. Kiberfiziskās sistēmas (*cyber-physical systems, CPS*) arvien biežāk reālajā laikā sazinās savā starpā un ar cilvēku dalībniekiem, izmantojot lietu internetu (*Internet of things – IoT*). *CPS* attiecas uz jaunas paaudzes sistēmām ar integrētām skaitļošanas un fiziskajām iespējām, kas reālā laikā var mijiedarboties savā starpā un ar cilvēkiem, izmantojot jaunas modalitātes (Baheti et al., 2011). Kiberfiziskās sistēmas pārveido cilvēku mijiedarbību ar inženierijas sistēmām. Kiberfiziskās sistēmas uztveršanu, skaitļošanu, vadību un tīklu veidošanu integrē fiziskos objektos un infrastruktūrā, savienojot tos ar internetu un savā starpā. Turklāt simulācija ir rūpīgi pārbaudīta pieeja sistēmas uzvedības un dizaina analīzei, kas var veikt

skaitliskus eksperimentus par zemām izmaksām. Kā uzticamības simulācijas metodi digitālo dvīņu var izmantot ne tikai sistēmas projektēšanas laikā, bet arī izpildlaika laikā, lai prognozētu sistēmas uzvedību tiešsaistē (Gabor et al., 2016). Veiksmīga DT ieviešana palielinātu pārredzamību, sadarbību, elastību, pielāgošanās spēju, ražošanas ātrumu, mērogojamību un ražošanas efektivitāti (Lee et al., 2020).

Digitālo dvīni var definēt kā fiziska objekta vai sistēmas dinamisku virtuālu attēlojumu visā tā dzīves ciklā, izmantojot reāllaika datus, lai gūtu iespēju saprast, mācīties un pamatot (Sandkuhl et al., 2020). Šī definīcija acīmredzami ir saistīta ar vispārpieņemto simulācijas modeļa definīciju (Banks, 2005). Gan digitālais dvīnis, gan imitācijas modelis ir reālas sistēmas – fiziskā dvīņa – attēlojums. Abi izmanto datus no reālās sistēmas un sniedz informāciju. Digitālais dvīnis laika gaitā mainās, pielāgojoties fiziskā dvīņa dzīves cikla fāzei (Grieves, 2019). Simulācijas modelis parasti tiek pielāgots konkrētas problēmas risināšanai, tāpēc vienas un tās pašas sistēmas simulācijas modeļi var būt dažādi.

Modelis tiek definēts kā sistēmas attēlojums ar mērķi šo sistēmu izpētīt. Modeli ir pārstāvēti tikai daži sistēmas aspekti un tas sniedz informāciju par sistēmu. Digitālo dvīni no jebkura cita digitālā modeļa atšķir tā saistība ar fizisko dvīni (Bolton et al., 2018). Digitālais dvīnis bez fiziska dvīņa ir modelis, un digitālie dvīņi dizainam ir nozīmīgi tikai tad, kad ir sasniegts prototipu veidošanas posms (Wright et al., 2020). Pastāv iespēja, ka digitālo dvīņu piemērošana dizainam būs ar diezgan ierobežotu ietekmi.

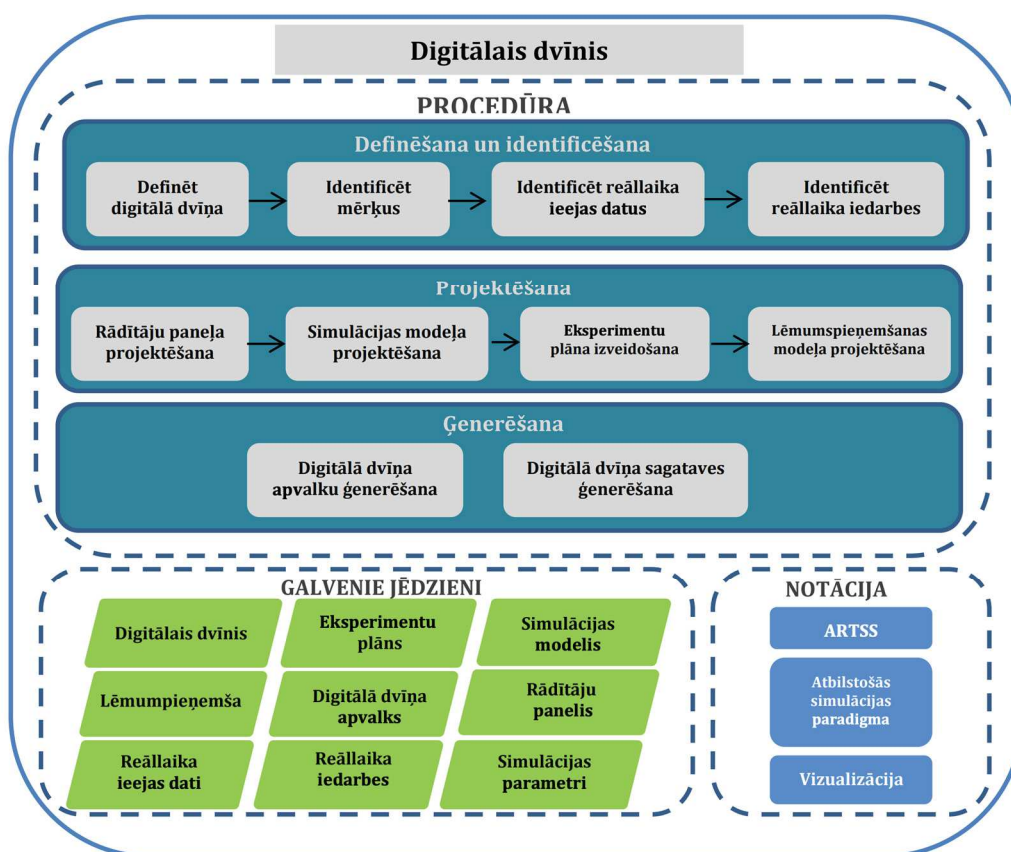
Tiek izdalīti dinamiskie un statistiskie digitālie dvīņi (Bolton et al., 2018). Dinamisks aktīva modelis ir ar pašreizējo veikspējas datu ievadīšanu no fiziskā dvīņa, izmantojot tiešās datu plūsmas no sensoriem, un tam ir atgriezeniskā saite fiziskajā dvīnī, izmantojot reāllaika kontroli. Statiskais sistēmas stratēģiskās plānošanas modelis ir ar ilgtermiņa stāvokļa datu ievadīšanu no fiziskā dvīņa, izmantojot korporatīvās sistēmas, un atgriezeniskā saite fiziskajā dvīnī notiek, izmantojot kapitāla ieguldījumu procesu.

Digitālie dvīņi ir perspektīvi pagātnes, esošajiem un nākotnes situāciju atainojumiem (Bolton et al., 2018). Nākotnes potenciāls: stratēģijas un plānošanas atbalsts, scenāriju “Ko darīt, ja?” (*what if?*) vadīšana, prognozējošie un profilaktiskie uzturēšanas režīmi. Pašreizējais stāvoklis: intervences pārvaldība (darbības un uzturēšanas intervences vai kapitālieguldījumu projekti), reālā laika stāvokļa uzraudzība un kontrole, diagnostika un prognozēšana, lai optimizētu aktīvu veikspēju un drošību. Vēsture: lietvedība un mācīšanās no pagātnes.

Ir nozīmīgi, lai digitālajā dvīnī būtu ar datiem pamatots izpildāms objekta virtuālais modelis, mainīgs datu kopums, kas attiecas uz objektu, un līdzekļi modeļa dinamiskai atjaunināšanai vai pielāgošanai atbilstoši datiem (Hughes, 2018; Wright et al., 2020).

Digitālie dvīņi visvairāk tiek izmantoti, ja objekts laika gaitā mainās, tādējādi padarot objekta sākotnējo modeli nederīgu, līdz ar to var notvert mērījumu datus, kurus var korelēt ar šīm izmaiņām. Ja objekts laika gaitā daudz nemainās, vai, ja ar šīm izmaiņām saistītos datus nevar notvert, tad digitālais dvīnis, visticamāk, nebūs noderīgs (Wright et al., 2020).

ARTSS metodes ietvaros digitālā dvīņa galvenais mērķis ir nodrošināt servisa drošības un noturības rādītāju patstāvīgu pārraudzību un servisa darbības regulēšanu. Digitālajam dvīnim tiek uzskaitītas projektēšanas metodes komponentes (attēls 2.6). Digitālā dvīņa projektēšana ir definēta atbilstoši spējas modelim.



2.6. att. ARTSS metodes digitālā dvīņa projektēšanas metodes komponenti (ARTSS VPP-COVID-2020/I-0009, 2020).

Galvenie uzskaitītie jēdzieni digitālā dvīņa projektēšanas metodes komponentē (ARTSS VPP-COVID-2020/I-0009, 2020):

1. Digitālais dvīnis.

2. Eksperimentu plāns – atbilstoši spējas mērķim eksperimentāli pārbaudāmie drošības un noturības scenāriji.
3. Simulācijas modelis – tiek izmantots spējas servisu un nodrošināšanas tīkla dinamiskai analīzei.
4. Lēmumu pieņemšana – balstoties uz simulācijas rezultātiem izvēlas atbilstošas reāllaika iedarbes.
5. Digitālā dvīņa apvalks – digitālā dvīņa vizualizācija.
6. Rādītāju panelis – rādītāju panelī iekļauj spēju modelī definētos *KPI*, kas ir nozīmīgi digitālā dvīņa kontekstā.
7. Reāllaika ieejas dati – ieejas dati ir spēju modelī definētie mērāmie atribūti vai konteksta elementi, kas ir nozīmīgi digitālā dvīņa kontekstā.
8. Reāllaika iedarbes – reāllaika iedarbes ir spēju modelī definētie pielāgojumi, kuri ir nozīmīgi digitālā dvīņa kontekstā.
9. Simulācijas parametri – eksperimenta plānā paredzētie simulācijas parametri spējas un servisu noturības novērtēšanai.

Digitālā dvīņa izmantošana ir būtiskākais *ARTSS* papildinājums, tas attēlo servisa nodrošināšanas tīklu, ļaujot to dinamiski pārraudzīt un simulācijas ceļā analizēt servisa noturību (*ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009*, 2020).

Šajā nodaļā tika aplūkota sociotehnisko sistēmu būtība, kā arī uzņēmumu modelēšanas un *4EM* metodes. Tika izskatīta sociotehnisko sistēmu attīstība un ietvertie jēdzieni, kā arī īpaši uzsverot sociotehnisko sistēmu iespējas uzņēmējdarbības problēmu risināšanā. Tiek apskatīta uzņēmējdarbības modelēšana, *4EM* metodes pielietošanas iespējas un digitālā dvīņa pielietojums.

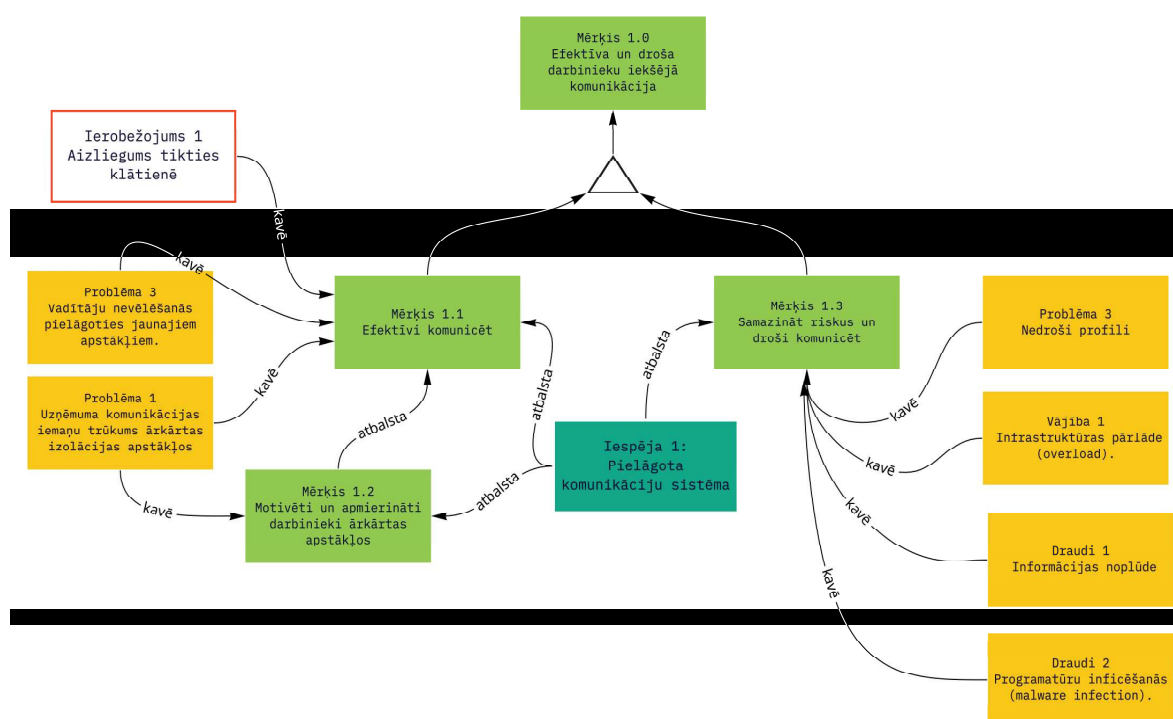
3. 4EM MODELIS DROŠAI UN EFEKTĪVAI KOMUNIKĀCIJU SISTĒMAI ATTĀLINĀTA DARBA APSTĀKĻOS

Efektīvas komunikācijas tehnoloģijas ietver sevī dažādus aspektus un sadaļas. *EM* vizualizācija palīdz aprakstīt esošo situāciju, noskaidrot attiecības un atkarību starp dažādām organizācijas komunikācijas konstrukcijas daļām. Turpmākajās nodaļās tiks piedāvāts *4EM* modelis efektīvai un drošai komunikācijai, kurš ir pārbaudīts/validēts ar digitālā dvīņa palīdzību. *EM* modelēšanas tehnikas ir metodes un rīki uzņēmumu modelēšanai, lai atrastu un sagatavotu potenciālos uzlabojumus. Tas ietver izaicinājumu atpazīšanu, to risināšanu un praktiskas vadlīnijas. Modeļa izveidei tika izmantota *ARTSS* drošu un noturīgu servisu izstrādes metode (*ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009*, 2020). Praktiskās vadlīnijas tiek piedāvātas pēc modeļa prezentēšanas, tās var izmantot tehnoloģiju veidotāji un uzņēmumu vadītāji sava darba uzlabošanai. Lai efektīvas komunikācijas sistēmā iekļautu tāds faktorus kā motivāciju, apmierinātību un kadru mainību, ceturtajā nodaļā tiek testētas mašīnmācīšanās algoritmu pielietošanas iespējas uz divu dažādu datu kopām.

Līdzīgi kā pirmie sociotehnisko sistēmu pētījumi meklēja jaunas organizāciju formas, kuras varētu funkcionēt ar jaunajām tehnoloģiskajām sistēmām, arī šī pētījuma mērķis ir izstrādāt tehnoloģisku risinājumu efektīvai darba komunikācijai darba vidē. Darba vide ir mūžam mainīga, īpaši kopš attālināts darbs ir ieņēmis nozīmīgu lomu cilvēku dzīvēs, radot jaunu organizāciju formu. Sociotehnisku sistēmu pētījumi dod iespēju saprast sarežģītus ceļus, kuros cilvēki darbā sadarbojas un lieto instrumentus un tehnoloģijas, lai paveiktu savu kolektīvo darbu. Šī pētījuma ietvaros ir izvēlēta *4EM* metode, kā arī pielietota *ARTSS* drošu un noturīgu servisu metode. *4EM* modeļa plašais iespējamo pielietojumu klāsts un augstais abstrakcijas līmenis nodrošina to, ka mērķa modeļi paliek spēkā diezgan ilgu laiku, jo tie nav atkarīgi no ieviešanas metodes. *ARTSS* metodē ar specifisku mērķu palīdzību spēju un servisu modelī tiek attēloti servisa drošības un noturības nodrošinājuma svarīgākie aspekti. Uz mērķa, biznesa likumu, biznesa procesu un dalībnieku resursu bāzes ir izveidots paplašināts un detalizēts tehnisko komponentu un prasību modelis efektīvai un drošai komunikācijai attālinātam darbam. Modelis ir aprobēts ar digitālā dvīņa palīdzību, tas ir apstiprināts *ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009* projekta ietvaros un rezultātus ir apstiprinājusi Latvijas Zinātnes padome.

Mērķu modeli izmanto, lai aprakstītu uzņēmuma mērķus kopā ar ietekmējošiem faktoriem, kas saistīti ar šo mērķu sasniegšanu (attēls 3.1). Modeļa galvenais mērķis (1.0) ir “Efektīva

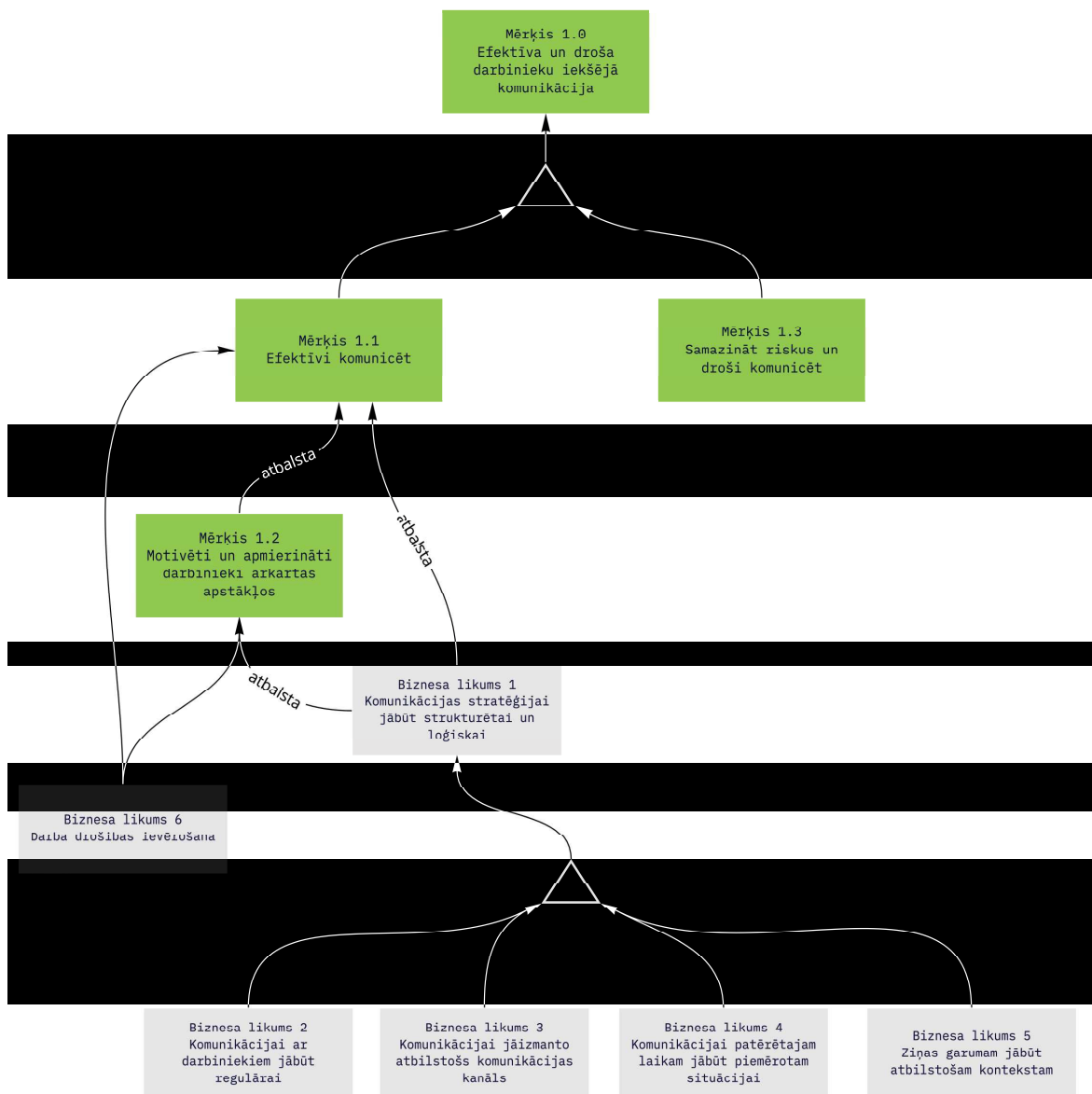
un droša darbinieku iekšējā komunikācija” (attēls 3.1). Iespēja “Pielāgota komunikāciju sistēma” atbalsta trīs apakšmērķus – “Efektīvi komunicēt” (1.1), kas tiek atbalstīts ar apakšmērķi “Motivēti un apmierināti darbinieki ārkārtas apstākļos” (1.2), un “Samazināt riskus un droši komunicēt” (1.3). Mērķi “Efektīvi komunicēt” (1.1) kavē viens ierobežojums “Aizliegums tikties klātienē” un divas problēmas – “Vadītāju nevēlēšanās pielāgoties jaunajiem apstākļiem” un “Uzņēmuma komunikācijas iemaņu trūkums ārkārtas izolācijas apstākļos”. Mērķi “Samazināt riskus un droši komunicēt” (1.3) kavē problēma “Nedroši profili”, vājība “Infrastrukturā pārlāde” un divi draudi – “Informācijas noplūde” un “Programmatūru inficēšanās”.



3.1. att. Mērķu modelis efektīvai un drošai komunikāciju sistēmai.

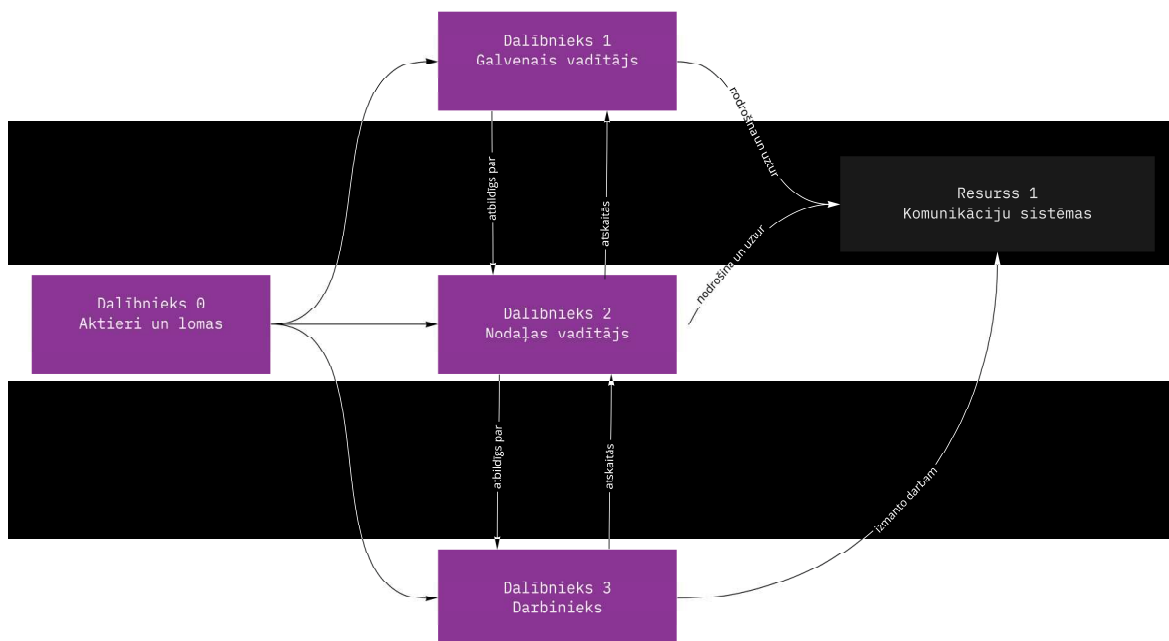
Biznesa likumu modelis apraksta dažādus noteikumus un likumus, kuri attiecās uz uzņēmējdarbību un var ierobežot operācijas un mērķus (attēls 3.2). Šajā situācijā jau ir ņemts vērā, ka darbs notiek attālināti. Sīkāk Biznesa likumu modelī ir iztirzāts “Efektīvas komunikācijas” (1.1) mērķis, kas ir šī pētījuma galvenais virziens. Apakšmērķi “Efektīvi komunicēt” (1.1) un “Motivēti un apmierināti darbinieki ārkārtas apstākļos” (1.2) tiek atbalstīti ar Biznesa likumu 1 “Komunikācijas stratēģijai jābūt strukturizētai un loģiskai” un biznesa likumiem, kuri izriet no Biznesa likuma 1: “Komunikācijai ar darbiniekiem jābūt regulārai”, “Komunikācijai jāizmanto atbilstošs komunikācijas kanāls”, “Komunikācijai

patērētajam laikam jābūt piemērotam situācijai” un “Ziņas garumam ir jābūt atbilstošam kontekstam”.



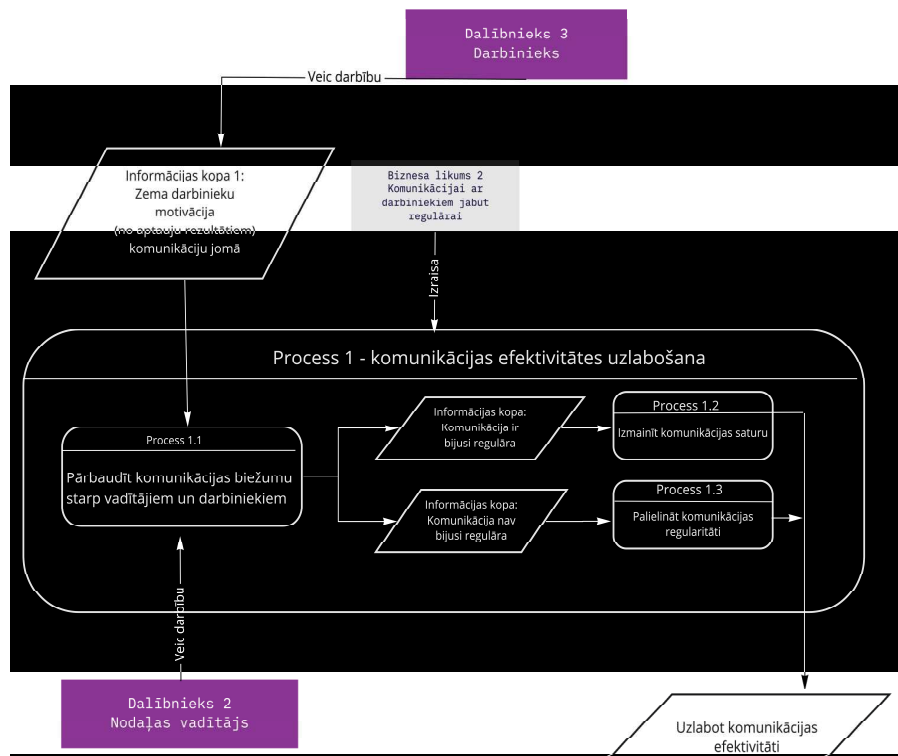
3.2. att. Biznesa likumu modelis efektīvai komunikācijai.

Ar dalībnieku un resursu modeli apraksta, kā dažādi dalībnieki un resursi ir saistīti viens ar otru un esošo vai nākotnes biznesa sistēmu: gan ar cilvēku, gan ar tehnoloģiskajiem resursiem (attēls 3.3). Šim 4EM modelim ir trīs dalībnieki – galvenais vadītājs, nodaļas vadītājs un darbinieks. Nodaļas vadītājs ir atbildīgs par darbiniekiem un atskaitās galvenajam vadītājam, kurš savukārt ir atbildīgs par nodaļas vadītāju. Darbinieks atskaitās nodaļas vadītājam. Resursu “Komunikāciju sistēma” nodrošina un uztur galvenais vadītājs un nodaļas vadītājs, darbinieki šo sistēmu izmanto darbam.



3.3. att. Dalībnieku un resursu modelis efektīvas komunikācijas sistēmai.

Ar biznesa procesu modeli definē uzņēmuma procesus, šo procesu mijiedarbību un to, kā tiek apstrādāta informācija un materiāli. Attēlā 3.4. vizualizēts komunikācijas efektivitātes uzlabošanas modelis. Šajā situācijā ar aptaujas rezultātu palīdzību tiek noteikts, ka ir zema darbinieku motivācija konkrēti komunikācijas jomā (šo informāciju izstrādā turpmākajās nodaļās aprakstītais algoritms). Nodaļas vadītājs attiecīgi veic darbību – pārbauda komunikācijas biežumu starp vadītājiem un darbiniekiem (šī ir viena no izstrādātās sistēmas *Comets* automātiskajām funkcijām). Ja komunikācija bijusi regulāra, tad ir jāmaina komunikācijas saturs. Ja komunikācija bijusi neregulāra, tad jāpalielina komunikācijas regularitāte. Veicot šīs darbības, tiek īstenots process – komunikācijas efektivitātes uzlabošana.



3.4. att. Biznesa procesu modelis komunikācijas efektivitātes uzlabošanai.

Aprakstītie mērķi, dalībnieki, kā arī citas komponentes (spējas, draudi, problēmas, konteksta elementi, tehniskās prasības un galvenie darbības rādītāji) ir apkopotas Pielikumā 2 (Pratt et al., 2021). Šī modeļa priekšrocība ir tā, ka tiek formulētas tehniskās prasības atbilstoši konteksta iestatījumam. Tas ir jauns esošā *EM* procesa papildinājums. Tiek definētas četras konteksta kategorijas ar apakšelementiem – “Informācijas drošība”, “Karantīnas situācija”, “Informācijas integritāte” un konteksts ar ISO/IEC drošības elementiem.

3.1 Tehnisko komponentu un prasību modelis

Tehnisko komponentu un prasību modelis, kurš veidots pēc *4EM* un *ARTSS* metodikas ir atainots 3.5. attēlā. Modeļa galvenais uzdevums ir aprakstīt un atspoguļot svarīgākos faktorus drošai un efektīvai komunikācijai attālināta darba apstākļos. Pēc *ARTSS* metodes prasībām, pirmkārt, tiek definētas spējas. Turpinājumā modelis paplašināts ar konteksta elementiem, mērāmajiem atribūtiem, mērķiem, *KPI* un pielāgojumiem.

Detalizētāk aprakstītas trīs spējas modeļa “Efektīva un droša darbinieku iekšējā komunikācija” spējas – “Komunikācijas elastība”, “Draudu vadība” un “Informācijas

drošības un pieejamības pārvaldība”. Šīs spējas jānodrošina efektīvai un drošai komunikāciju sistēmai un rīkam.

Modelī ietverti četri nozīmīgi mērķi:

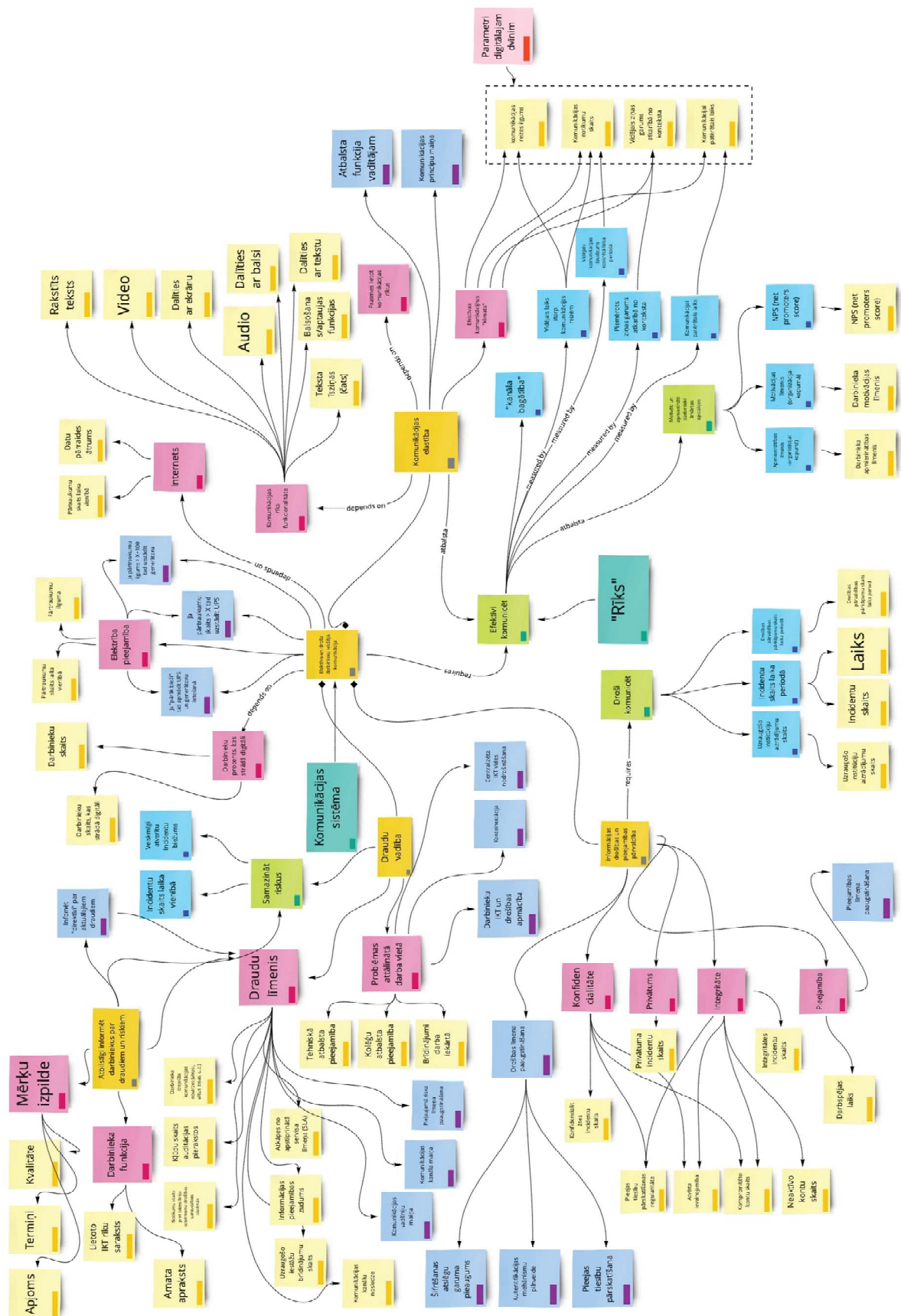
- efektīvi komunicēt;
- droši komunicēt;
- samazināt riskus;
- motivēti un apmierināti darbinieki.

Modelī uzskaitītas dažādas komunikācijas rīka spējas:

- efektīva un droša darbinieku iekšējā komunikācija;
- komunikācijas elastība;
- draudu vadība;
- informācijas drošības un pieejamības pārvaldība;
- atbilstoša darbinieku informēšana par draudiem un riskiem.

Nodrošinātie servisi ir “Komunikācijas sistēma” un “Rīks”.

Katra spēja ir balstīta uz noteiktiem kontekstiem. Savukārt no kontekstiem izriet pielāgojumi, mērāmie atribūti un/vai izpildes pamatrādītāji (*key performance indicators - KPI*).



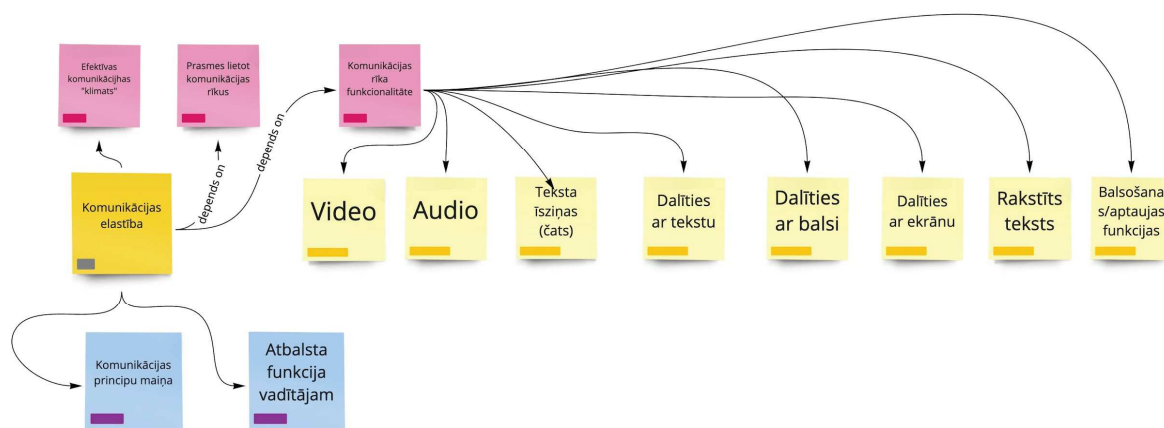
3.5. att. Tehnisko komponentu un prasību modelis
(ARTSS VPP-COVID-2020/I-0009, 2020)

3.2 Tehnisko komponentu un prasību modeļa elementu apraksti

Pirmās spējas “Efektīva un droša darbinieku iekšējā komunikācija” mērķis ir “Efektīvi komunicēt”. Šī mērķa izpildi nodrošina “Rīks”, kurš ir pielāgota komunikāciju tehnoloģija. Šo mērķi atbalsta spēja “Komunikācijas elastība”, kas ir atkarīga no trīs konteksta elementiem (attēls 3.6):

- komunikācijas rīka funkcionalitātes, kas var ietvert tādus mērāmos atribūtus kā video, audio, teksta īsziņas/tērzēšana (čats), dalīšanās ar tekstu, dalīties ar balsi, dalīties ar ekrānu, rakstīts teksts un balsošanas/aptaujas funkcija;
- prasmes lietot komunikāciju rīkus;
- vide efektīvai komunikācijai.

Spējai “Komunikācijas elastība” ir divi pielāgojumi – “Komunikācijas principu maiņa” un “Atbalsta funkcija vadītājam”.



3.6. att. Modelis spējai “komunikācijas elastība”.

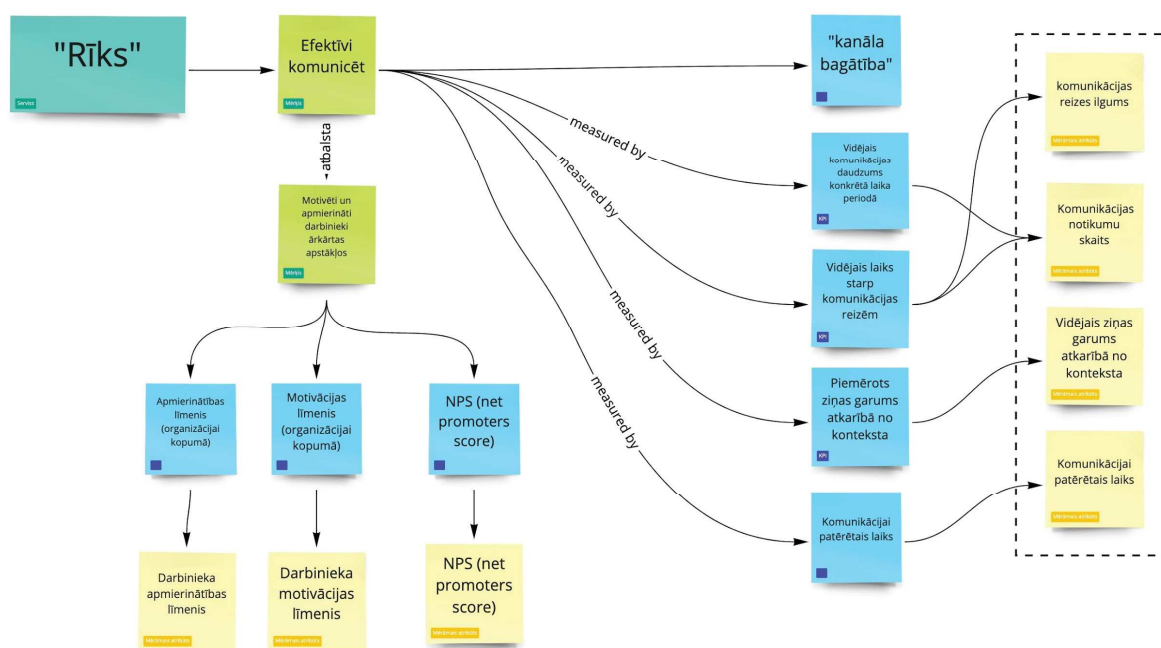
Mērķi “Efektīvi komunicēt” var mērīt pēc sekojošiem *KPI* – kanāla bagātība, vidējais laiks starp komunikācijas reizēm, vidējais komunikācijas daudzums konkrētā laika periodā, ziņas garuma atkarība no konteksta, komunikācijai patērētais laiks (attēls 3.7). Attiecīgi no šiem *KPI* izriet mērāmie atribūti, kuri tiek izmantoti digitālajam dvīnim – komunikācijas reizes ilgums, komunikācijas notikumu skaits, vidējais ziņas garums atkarībā no konteksta, komunikācijai patērētais laiks.

Savukārt efektīvas komunikācijas mērķis ir motivēti un apmierināti darbinieki darbā attālināti. Tas tiek mērīts (*KPI*) ar darbinieku apmierinātības un motivācijas līmeni organizācijā kopumā. Šim nolūkam ir izstrādāts algoritms 4.nodaļā. Motivācija tika mērīta

ar 59 jautājumiem, kas ņemti no Smereka et al., (2006) anketas, un tika pielāgoti šai aptaujai (Smerek et al., 2006). Mērāmos faktoros var sadalīt trīs grupās (detalizēti skaidrojumi doti 4.2.1.nodaļā):

- Motivācija:
 - Iekšējie faktori (REC, WRK, ADV, GTH, GFO un MIS);
 - Ārējie faktori (SMG, SPV, CRW, SAL, BEN un VAL);
- Apmierinātība (SAT);
- Vēlme pamest darbu (TRN).

Vēl viena iespēja, kā mērīt motivāciju un apmierinātību, ir izmantot patērētāju lojalitātes rādītāju (*net promoters score, NPS*). Šiem trim *KPI* ir identiski mērāmie atribūti.



3.7. att. Efektīvas komunikācijas modelis.

Spējai “Efektīva un droša darbinieku iekšējā komunikācija” ir trīs konteksta elementi:

1. Internets, ko mēra ar pārtraukumu skaitu laika vienībā un ar datu pārraides ātrumu.
2. Elektrības pieejamība, ko mēra ar pārtraukumu skaitu vienā laika vienībā un pārtraukumu ilgumu. Elektrības pieejamībai ir trīs iespējamie pielāgojumi:

- ja pārtraukumu ilgums $> X+100$, tad uzstādīt ģeneratoru;
- ja pārtraukumu skaits $> X$, tad uzstādīt nepārtrauktās barošanas bloku (*universal power supply - UPS*);
- ja “pārāk bieži”, tad apmācīt darbiniekus UPS un ģeneratoru lietošanā.

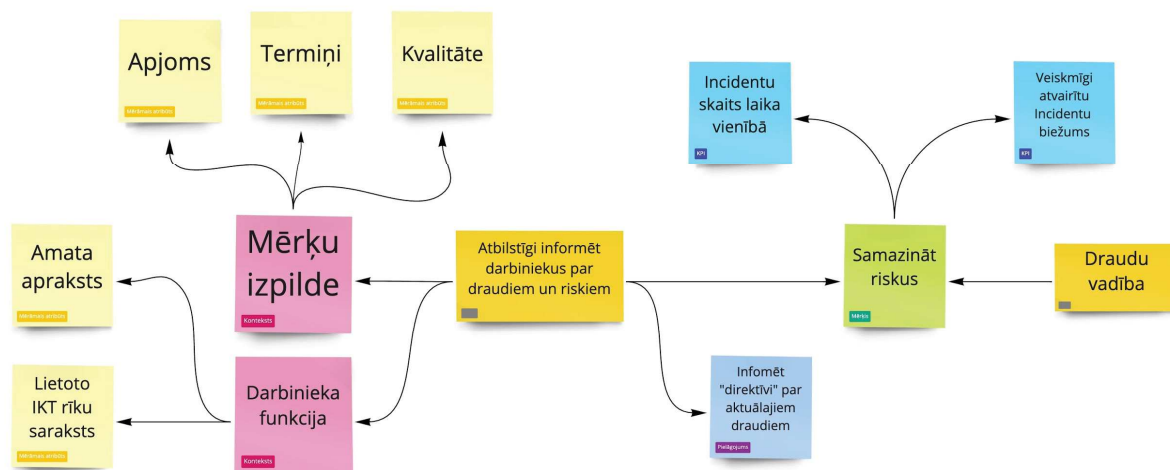
3. Darbinieku procenti, kas strādā attālināti. Mērāmie atribūti ir kopējais darbinieku skaits un darbinieku skaits, kas strādā attālināti.

Spējai “Efektīva un droša darbinieku komunikācija” pakārtotā spēja ir “Draudu vadība”. Šīs spējas mērķis ir samazināt riskus. Lai novērtētu risku samazinājumu, tiek izmantoti divi *KPI* – incidentu skaits laika vienībā un veiksmīgi atvairītu incidentu biežums.

Lai samazinātu riskus, ir svarīga spēja “Atbilstoša darbinieku informēšana par draudiem un riskiem” (attēls 3.8). Šīs spējas pielāgojums ir “Informēt tieši par aktuālajiem draudiem”.

Attiecīgi šai spējai ir divi konteksta elementi:

- “Mērķu izpilde” ar mērāmajiem atribūtiem: apjoms, termiņi un kvalitāte;
- “Darbinieka funkcija” ar mērāmajiem atribūtiem: lietoto informācijas un komunikāciju tehnoloģiju (IKT) rīku saraksts un amata apraksts.

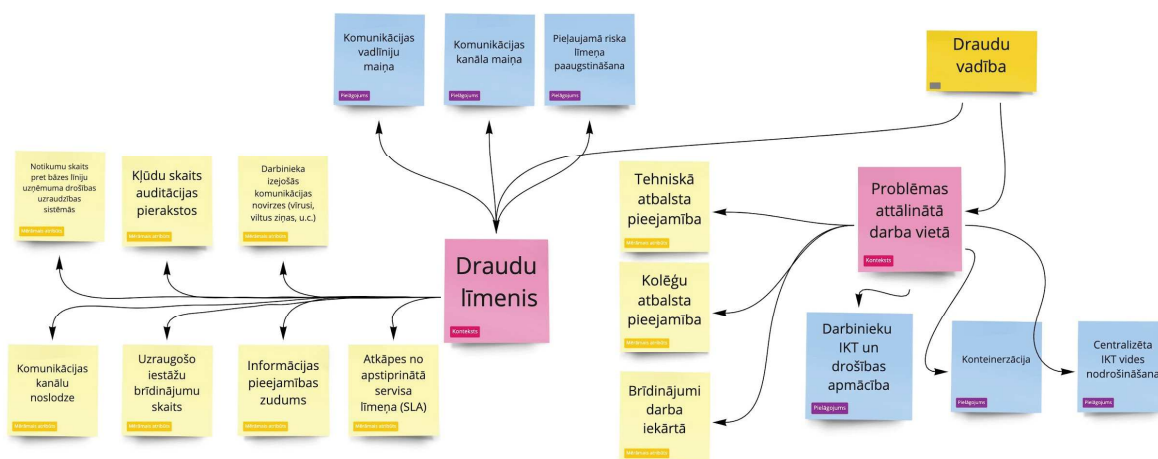


3.8. att. Modelis spējai “atbilstīgi informēt darbiniekus par draudiem un riskiem”.

Spējai “Draudu vadība” ir divi konteksta elementi – “Draudu līmenis” un “Problēmas attālinātā darba vietā” (attēls 3.9). Draudu līmenim ir trīs pielāgojumi – komunikācijas vadlīniju maiņa, komunikācijas kanāla maiņa un pieļaujamā riska līmeņa paaugstināšana. Draudu līmenim ir septiņi mērāmie atribūti: 1) notikumu skaits pret bāzes līniju uzņēmuma drošības uzraudzības sistēmās, 2) kļūdu skaits auditācijas pierakstos, 3) darbinieka izejošās komunikācijas novirzes (vīrusi, viltus ziņas u. c.), 4) komunikācijas kanālu noslodze, 5) uzraugošo iestāžu brīdinājumu skaits, 6) informācijas pieejamības zudums, 7) atkāpes no apstiprinātā servisa līmeņa līguma (*service-level agreement, SLA*).

Kontekstam “Problēmas attālinātā darba vietā” ir trīs mērāmie atribūti – tehniskā atbalsta pieejamība, kolēģu atbalsta pieejamība un brīdinājumi ierīcē, kā arī trīs iespējamie

pielāgojumi – darbinieku IKT un drošības apmācība, konteinerizācija un centralizēta IKT vides nodrošināšana.



3.9. att. Modelis spējai “draudu vadība”.

Vēl viena sējas “Efektīva un droša darbinieku iekšējā komunikācija” apakšspēja ir “Informācijas drošības un pieejamības pārvaldība” (attēls 3.10). Šīs spējas mērķis ir “Droši komunicēt”. Tam ir trīs *KPI*:

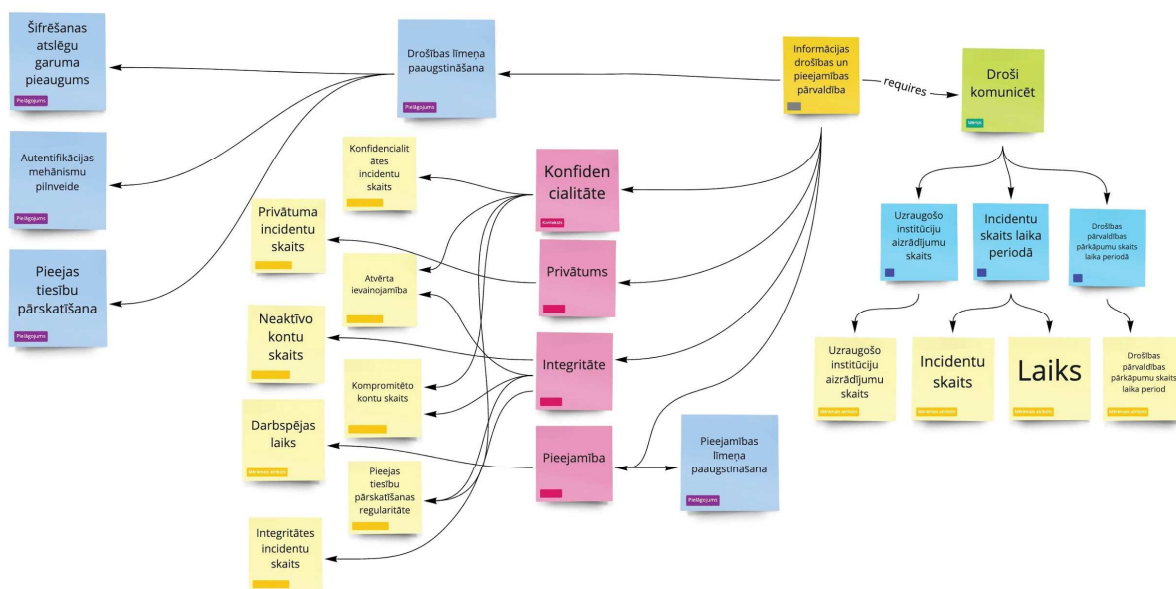
- uzraugošo institūciju aizrādījumu skaits ar tāda paša nosaukuma mērāmo atribūtu;
- incidentu skaits laika periodā ar mērāmajiem atribūtiem: incidentu skaits un laiks;
- drošības pārvaldības pārkāpumu skaits laika periodā ar tāda paša nosaukuma mērāmo atribūtu.

Spējai “Informācijas drošības un pieejamības pārvaldība” ir viens pielāgojums – Drošības līmeņa paaugstināšana ar trīs izrietošiem pielāgojumiem: Šifrēšanas atslēgu garums, Autentifikācijas mehānismu pilnveide un Piekļuves tiesību pārvaldība.

Spējas “Informācijas drošības un pieejamības pārvaldība” konteksti ir:

- konfidencialitāte;
- integritāte;
- pieejamība;
- privātums.

Šiem kontekstiem ir astoņi mērāmie atribūti – 1) konfidencialitātes incidentu skaits, 2) privātuma incidentu skaits, 3) piekļuves tiesību pārskatīšanas regularitāte, 4) atvērta ievainojamība, 5) kompromitēto kontu skaits, 6) neaktīvo kontu skaits, 7) integritātes incidentu skaits, 8) darbības laiks. Pieejamības kontekstam ir viens pielāgojums – Pieejamības līmeņa paaugstināšana.



3.10. att. Modelis spējai “droši komunicēt”.

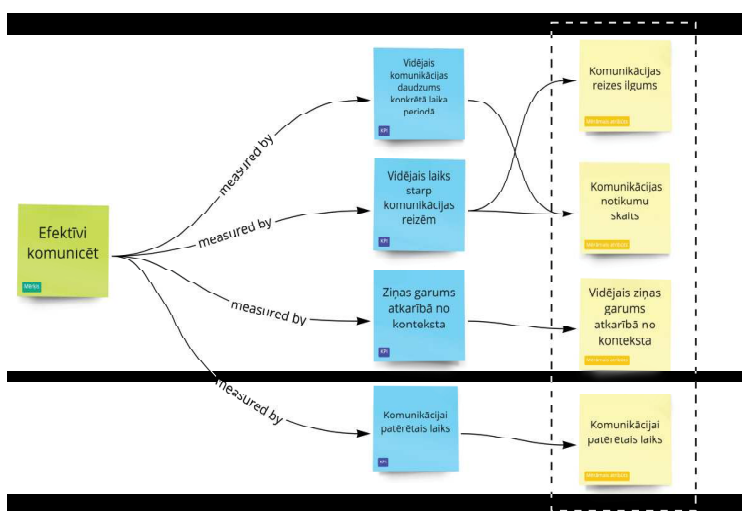
Šis *4EM* modelis ir apstiprināts ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009 projekta ietvaros un rezultātus ir apstiprinājusi Latvijas zinātnes padome. Lai novērtētu, vai efektīvas komunikācijas mērķis tiek sasniegts, izmantojot ierosinātos jaunus rīkus un pakalpojumus drošai attālai darba vietai, šī modeļa darbība tiek digitalizēta un validēta, izmantojot digitālo dvīni, kurš aprakstīts nākamajā nodaļā.

3.3 Digitālais dvīnis efektīvas un drošas darba vietas modelim

Attālinātās darba vietas problēmas zinātniskajā literatūrā tiek plaši pētītas, tomēr lielākā daļa pētījumu nesniedz un pat nepiedāvā nekādus komunikācijas efektivitātes novērtēšanas modeļus attālā darba vietā (Babulak, 2009; Dittes et al., 2019; He et al., 2009; Tamrat et al., 1995). Literatūrā ir atrodami vispārīgi ieteikumi, ierobežojumi un problēmas attālināta darba kontekstā Covid-19 epidēmijas izraisītās krīzes apstākļos, taču tie nesniedz nekādu būtisku informāciju šādu sistēmu modelēšanai un nav izmantojami digitālo dvīņu attīstībai (Okerefor et al., 2020; Okerefor et al., 2020; Weil et al., 2020).

Digitālais dvīnis efektīvas komunikācijas *4EM* modelim tika veidots VPP-COVID-2020/1-0009 (ARTSS) projekta ietvaros, izmantojot modeļa struktūru un integrējot šo modeli digitālajā dvīnī sistēmas dinamiskai virtuālai attēlošanai, izmantojot reāllaika datus. Turpmākais apraksts un modelis veidots, sadarbojoties dažādiem nozares ekspertiem projekta darba gaitā, kurā piedalījās arī šīs disertācijas autore (ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009, 2020).

Lai novērtētu, vai efektīvas komunikācijas mērķis tiek sasniegts, izmantojot ierosinātos jaunus rīkus un pakalpojumus drošai attālai darba vietai, *4EM* modeļa pētījumi ir definēti pēc galvenajiem darbības rādītājiem un parametriem digitālajam dvīnim (attēls 3.11).



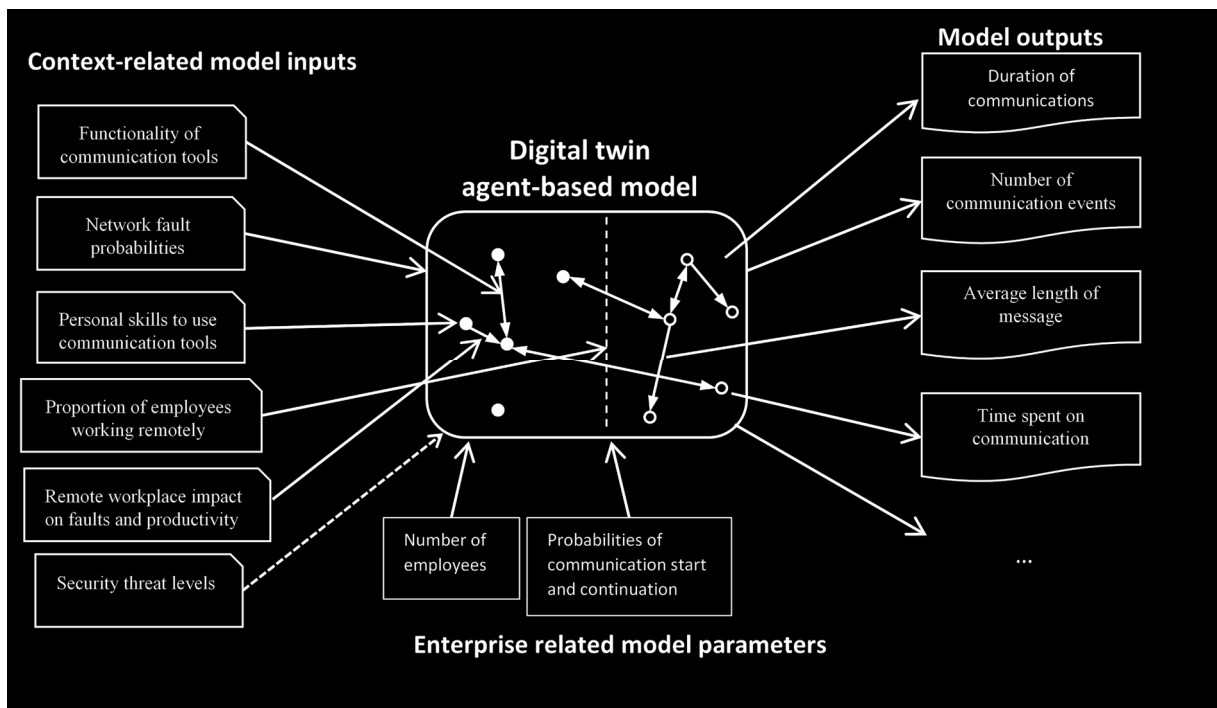
3.11. att. *4EM* modeļa *KPI* rādītāji un mērāmie atribūti, kuri tiek izmantoti digitālajā dvīnī.

Galvenie darbības rādītāji ir:

- vidējais komunikācijas daudzums konkrētā laika periodā;
- vidējais laiks starp komunikācijas reizēm;
- ziņas garums atkarībā no konteksta;
- komunikācijai patērētais laiks.

Tika definēti četri galvenie rādītāji, lai novērtētu efektīvu komunikācijas mērķi efektīvā komunikācijas klimata kontekstā. Šos rādītājus ir iespējams kvantitatīvi novērtēt un aprēķināt simulācijas laikā bez papildu specifiskiem pieņēmumiem. Novērtētie sistēmas parametri digitālajā dvīnī ir komunikācijas reizes ilgums, komunikācijas notikumu skaits, vidējais ziņas garums atkarībā no konteksta un komunikācijai patērētais laiks (attēls 3.11).

Izmantojot šos parametrus, digitālajam dvīnim būtu jāimitē un jānovērtē komunikācijas tīkls starp darbiniekiem un komunikācijas procesi konkrētā uzņēmumā (vai daļēji ārpus tā) efektīvā komunikācijas klimata apstākļos. Digitālā dvīņa modeļa struktūra, kas radīta, lai novērtētu drošu attālas darbavietas pakalpojumu ietekmi, vizualizēta 3.12. attēlā.



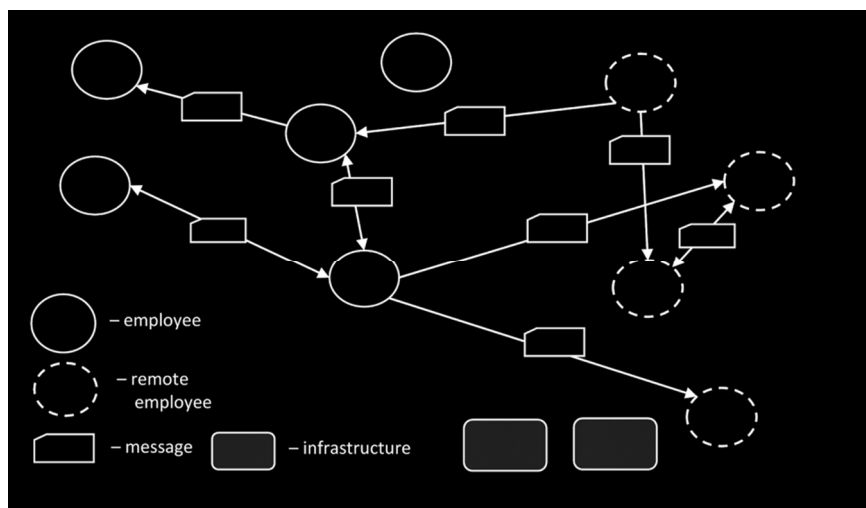
3.12. att. Digitālā dvīņa modeļa struktūra drošas attālās darbavietas gadījumu izpētei (Lektauers et al., 2021)

Kā digitālā dvīņa modeļa kodols tiek piedāvāts uz aģentu balstīts simulācijas modelis. Aģenti simulē darbinieku uzvedību organizācijā ar darbu saistītā ikdienas komunikācijas procesā. Simulācijas laikā aģenti atver un aizver komunikācijas kanālus, lai apmainītos ar informāciju. Modeļa ievades parametri apraksta darbinieku uzvedības īpatnības un nodrošina ar kontekstu saistītas izmaiņas visas sistēmas uzvedībā, un ietekmē gan darbinieku aģentus, gan saiknes starp tiem. Piemēram, tīkla kļūmju varbūtība ietekmē komunikācijas kanālu esamību un stāvokli: ja šāda varbūtība tiek nejauši aktivizēta modelī, tad konkrēts darbinieks (vai darbinieki) zaudē komunikācijas iespēju, un attiecīgie komunikācijas kanāli viņiem ir slēgti. Modeļa parametri norādīti nejaušos laika intervālos. Savukārt personīgās prasmes izmantot komunikācijas rīkus varētu piešķirt nejauša sadalījuma veidā ar konkrētiem izplatīšanas parametriem katram aģentam (katram darbiniekam), lai noteiktu konkrētu darbinieku uzvedību produktivitātes ziņā komunikācijā.

Kā izvadi modelis aprēķina visu aģentu statistiku uz aģentu balstītajā simulācijā un nodrošina visu aģenta populācijas statistikas rezultātus iepriekš izvēlētajiem galvenajiem veiktspējas rādītājiem (attēls 3.11). Turklāt modelī jāprecizē ar organizāciju un uzvedību saistītie ievades parametri (piemēram, darbinieku skaits utt.), lai tas varētu simulēt reālai sistēmai iespējami tuvāko rīcību, kuru aizstāj ar uzskatāmu digitālo dvīni.

Digitālā dvīņa konceptuālajam modelim tiek definēti trīs aģenti (attēls 3.12) (Lektauers et al., 2021):

- personāla aģents (staff agent) – veic visu uzvedību saistībā ar organizācijas vai uzņēmuma individuālā darbinieka saziņu,
- ziņojums (message) – īpašs saziņas notikums starp diviem personāla aģentiem,
- infrastruktūra (infrastructure) – ar infrastruktūru saistīti aģenti, piemēram, tīkli, serveri utt.

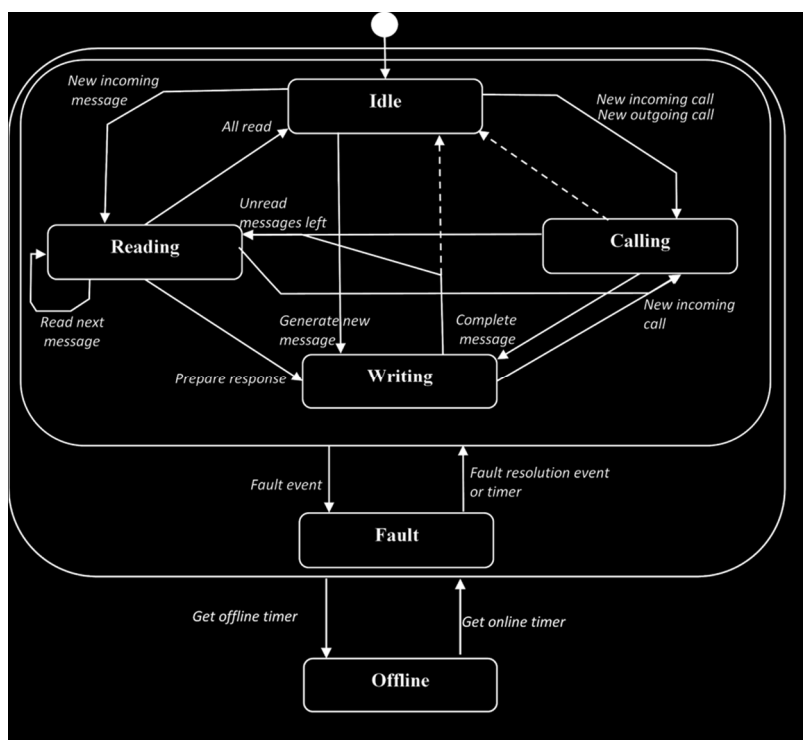


3.13. att Komunikācijas konceptuālais modelis attālinātas darba vietas kontekstā (Lektauers et al., 2021)

Darbiniekiem, kuri strādā attālināti (remote employee), un tiem, kas strādā no biroja, tiek piemērots atšķirīgs konteksts (attēls 3.13). Komunikācijas saites starp darbinieku aģentiem dinamiski mainās simulācijas laikā, aģentu skaitā un attālināto aģentu proporcijās.

Aģents **darbinieks** tiek ierosināts kā atsevišķa aģentu klase. Darbinieki sazinās ar citiem darbiniekiem, izmantojot dažādus saziņas kanālus un saziņas veidus. Atkarībā no notikuma stāvokļa izmaiņām darbinieku aģentu inducē taimeris, modeļu notikumi vai citi darbinieku aģenti. Atsevišķas notikumu izmaiņas notiek nejauši ar noteiktu varbūtību. Piedāvātajā vienkāršotajā darbinieka modelī (3.14 attēls) ir definēti seši stāvokļi – dīkstāve, lasīšana, rakstīšana, izsaukums, kļūme un bezsaiste (Lektauers et al., 2021). Dīkstāvē darbinieks nesazinās, bet veic citas ar komunikāciju nesaistītas darba aktivitātes. Lasīšanas stāvoklī darbinieks lasa ar tekstu saistītu ienākošo komunikāciju, bet rakstīšana – darbinieks raksta jaunu ar tekstu saistītu izejošo komunikāciju. Izsaukums ir tad, kad darbiniekam ir tiešs zvans vai tiešsaistes sapulces saziņa ar citu aģentu. Piemēram, izsaukuma stāvoklī ar noteiktu varbūtību var izraisīt gaidīšanas režīms, ja notiek gan nejaušs notikums, lai

izveidotu jaunu komunikāciju, gan sakaru kanāla nejauša izvēle ietilpst zvana vai tiešsaistes sapulces komunikācijā. Tajā pašā laikā izsaukuma stāvoklis var rasties no gaidīšanas, lasīšanas vai rakstīšanas stāvokļa, kā arī, ja ir ienākošs zvans no cita aģenta. Kļūmes stāvoklis iestājas, kad darbiniekam ir kļūda, kas saistīta ar infrastruktūru vai drošību, un nav iespējams veikt ar komunikāciju balstītu darbību. Kļūmes notikums atšķiras no visiem citiem notikumiem, izņemot bezsaistes notikumu, un bloķē aģenta darbību, līdz beidzas nejaušs taimeris ar noteiktu varbūtību vai notiek kāds konkrēts kļūdas novēršanas notikums. Bezsaistes stāvoklis iestājas, kad darbinieks īslaicīgi tiek plānots bezsaistē un nav pieejams tiešai saziņai. Bezsaistes stāvoklis atšķiras no visiem citiem stāvokļiem un bloķē darbinieku aģenta darbību noteiktā nejaušā laika periodā. Bezsaistes un kļūmju stāvokļos aģents nav pieejams, izmantojot tiešu saziņu (piemēram, tiešsaistes sapulce), taču tas var saņemt un iekļaut rindā netiešos ziņojumus (piemēram, e-pastu).



3.14. att. Darbinieku aģenta stāvokļa diagramma (Lektuers et al., 2021).

Darbinieku aģentam jāievieš iesūtnes rindas ienākošajiem ziņojumiem, piemēram, e-pastam, tērzēšanai vietējās informācijas sistēmas ziņojumos. Aģents apstrādās šīs rindas, lai atspoguļotu ar šo ziņojumu saistīto rīcību. **Ziņojumu aģentu** var izmantot, lai noteiktu dažādus saziņas procesa veidus un kontekstu starp darbinieku. Modelī ir definēti šādi ziņojumu veidi (Lektuers et al., 2021):

- e-pasts – elektroniskā sarakste, izmantojot e-pasta protokolu, ar glabāšanu vietējos vai trešo pušu serveros,
- tērzēšana – tūlītējās ziņojumapmaiņas komunikācijas ziņas, īsas un ātri lasāmas un rakstāmas, bet uz tām ir jāatbild ātrāk,
- vietējā IS – komunikācijas ziņojumu plūsma vietējā informācijas sistēmā (piemēram, ERP, projektu vadības sistēmas, utt.), kas neiziet cauri noklusējuma e-pasta plūsmai,
- zvans – tiešie balss zvani (piemēram, tālruni),
- tiešsaistes sapulce – tiešsaistes tikšanās ar attālinātu darbinieku, izmantojot elektronisko saziņu.

Saziņas ziņojumi kā aģenti tiek izdalīti pēc ziņojuma veida, garuma avota aģenta un galamērķa aģenta. Dažādu veidu komunikācijas ziņojumu nodalīšana ļauj precīzāk modelēt komunikācijas procesus attālā darba kontekstā. Komunikācijas notikumu parametri ir atkarīgi no ziņojuma veida.

Infrastrukturā aģentu plānots izmantot, lai modelētu infrastruktūrai specifiskas darbības. Ar šādu aģentu palīdzību varētu būt iespējams simulēt konkrētas infrastruktūras komponentes kļūdu uzvedību komunikācijas plūsmā sistēmā. Piemēram, ar tīklu vai serveri saistītu kļūdu ietekmi var modelēt atšķirīgā uzvedībā.

3.4 Digitālā dvīņa pielietojums un eksperiments

Lai ieviestu digitālā dvīņa modeli, tiek izmantots uz MESA aģentu balstīts simulācijas ietvars Python (Masad et al., 2015). Šī sistēma ļauj izstrādāt uz aģentiem balstītus modeļus no nulles un ietver iebūvētus rīkus gan visas sistēmas, gan aģentu simulācijas datu organizētai vākšanai neatkarīgi un nodrošina rīkus tīkla un tīkla vides vizualizēšanai.

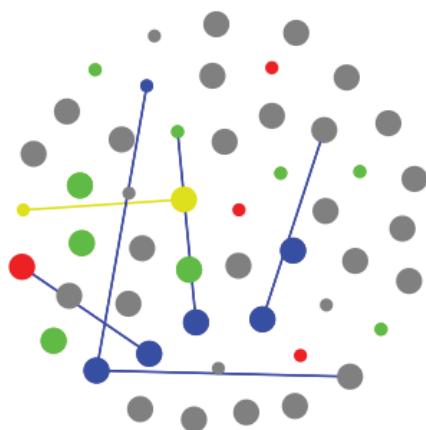
Statistikas apkopošana par galvenajiem veiktspējas rādītājiem digitālajā dvīnī tiek veikta šādi (Lektuers et al., 2021):

- komunikācijas **notikumu skaits** tiek aprēķināts katram modelim kā visu aktīvo savienojuma sesiju skaits,
- komunikācijā **pavadītais laiks** tiek apstrādāts kā relatīvs veiktspējas rādītājs un tiek aprēķināts katram darbinieka aģentam kā tādu darbību skaits, kurās aģents bija iesaistīts komunikācijā ar visa modeļa laiku, bet visu aģentu vidējā vērtība tiek apstrādāta kā modeļa izeja,
- katra aģenta **saziņas ilgums** tiek apstrādāts kā pēdējās komunikācijas darbības faktiskais ilgums.

Ja saziņa ir elektroniskas korespondences tipa, tiek aprēķināts viss komunikācijas laiks kopš nepārtrauktas tērzēšanas sākuma ar vienu attālo aģentu.

Lai vienkāršotu modeļa izstrādi, darbinieku aģentam tiek izmantota viena aģenta klase. Lai nesarežģītu modeli, ziņojumu aģenti netiek ieviesti, jo tie ir jāizveido un jāznīcina pārāk bieži, taču tiem pašiem nebūs mijiedarbības. Lai apstrādātu teksta sakarus, visi ar ziņojumu saistītie parametri tiek ievietoti mērķa aģenta rindā. Zvana tipa saziņai aģentu komunikācija atšķiras pēc viņu stāvokļa. Pašreizējā realizācijā infrastruktūras uzvedība tiek īstenota tikai kā ar darbinieku saistītas darbības, izmantojot randomizētus taimerus un varbūtības.

Modeļa vizualizācijas nolūkā pārbaudīt tā pareizību tiek veikta, izmantojot tīkla vizualizācijas MESA iebūvētos komponentus, izmantojot D3 grafisko dinamisko vizualizācijas bibliotēku (attēls 3.15). Ar modeļa inicializāciju tiek izveidots pilns grafiks, kurā virsotnes ir visi darbinieku aģenti. Bet simulācijas animācijas laikā tiek aktivizētas tikai tās malas, kuras tieši izmanto pašreizējā saziņā starp aģentiem.



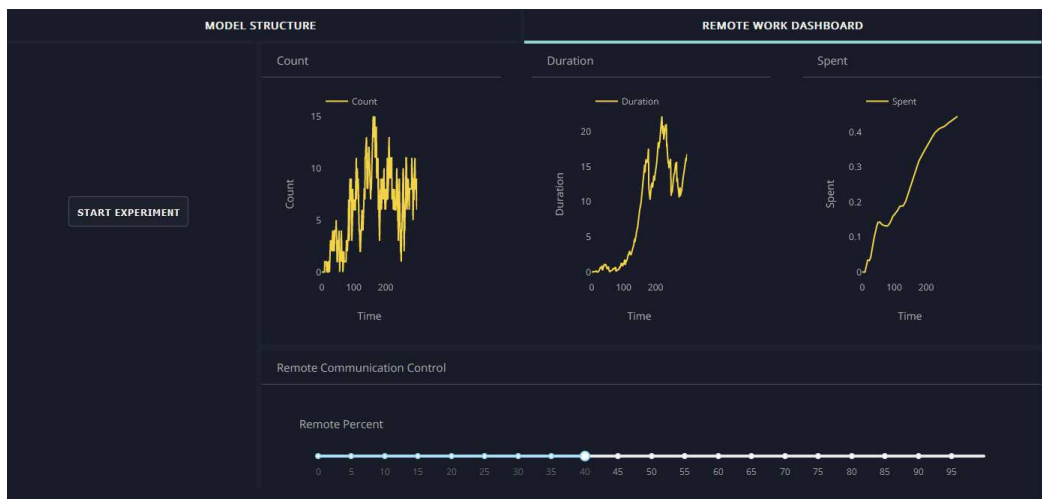
3.15. att. Komunikācijas novērtēšanas simulācijas modeļa animācija
(Lektuers et al., 2021).

Dažādas virsotņu krāsas ļauj apskatīt dažādus darbinieku aģentu stāvokļus, bet dažādi izmēri ļauj atšķirt biroja un attālinātos darbiniekus. Dažādas malu krāsas ļauj nošķirt dažādus komunikācijas kanālus starp aģentiem.

Modelis tiek pārbaudīts pēc konceptuālā modeļa; tomēr modeļa apstiprināšana veikta tikai daļēji un netika pabeigta konkrētā pētījuma ietvaros, jo ir nepieciešams vairāk ievades un izvades datu, lai noteikti pierādītu koncepciju. Lai organizētu digitālā dvīņa rezultātu izvadi, analizējot atlasītos attālos darba noturības galvenos veiktspējas rādītājus, tiek izveidots

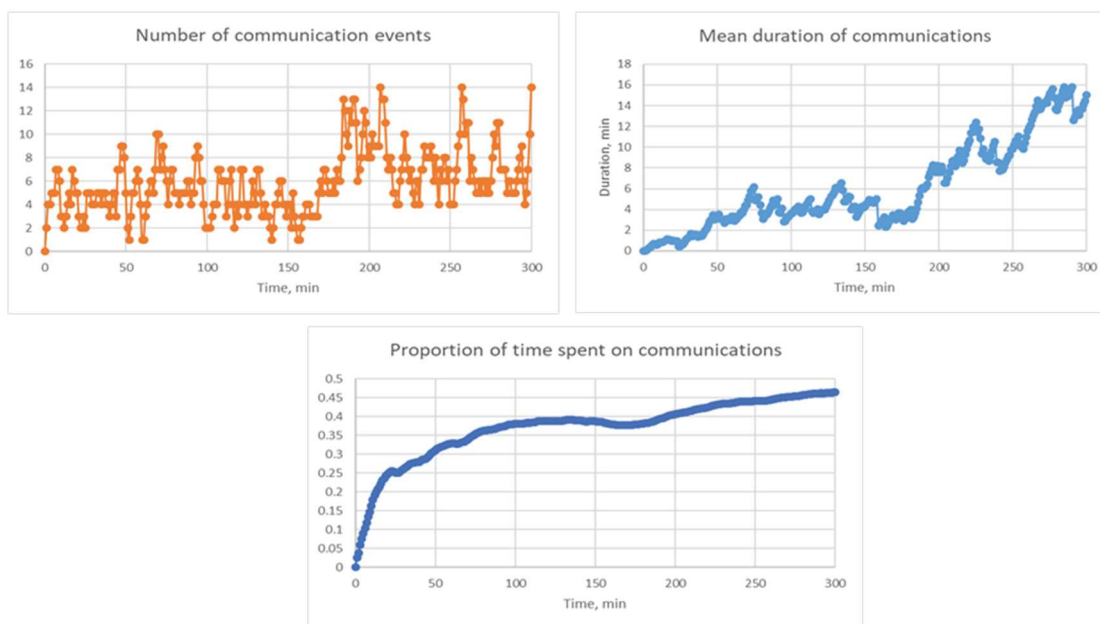
informācijas panelis, izmantojot Dash un Dash DAQ Python. Galvenie digitālo dvīņu *KPI* ir attēloti laika rindu diagrammās, un tos varētu atkārtoti simulēt (Lektauers et al., 2021).

Izstrādātais informācijas panelis ļauj simulēt digitālos dvīņus ar dažādiem parametriem, lai ņemtu vērā īstenoto stratēģiju dažādos rezultātos un padarītu elastīgāku attālo darbu organizācijā (attēls 3.16). Digitālo dvīņu eksperimentālo rezultātu integrācija tiek veikta, izmantojot datu tabulas apmaiņu, izmantojot izveidoto izejas failu sēriju.



3.16. att. Komunikācijas novērtēšanas simulācijas modeļa animācija
(ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009, 2020).

Aplūkotā attālinātas darbavietas modeļa eksperimentāla analīze tiek veikta, izmantojot digitālos dvīņus ar dažādām modeļa kontekstā un aģenta uzvedībā saistīto ievades parametru kombinācijām, lai veiktu modeļa verifikāciju, validāciju un pārbaudītu tā rezultātus. Eksperimentālie izlases darbības rezultāti ir parādīti 3.17. attēlā. 3.17. attēlā sniegtajā paraugu izpildē tika izmantoti šādi modeļa parametri: darbinieku skaits: 40; attālināti strādājošo īpatsvars: 40%; sakaru kļūmju varbūtība: 0,002; bojājuma varbūtības reizinātājs attālināti savienotam: 2.0 (ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009, 2020).



3.17. att. Galvenie veikspējas rādītāju laika grafiki eksperimentā ar digitālo dvīni (ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009, 2020).

Ir nepieciešams veikt turpmāku darbinieku uzvedības ievades parametru pielāgošanu simulācijas modelī, lai tos novestu pie reālās sistēmas empīriskās analīzes. Eksperimentos ar digitālo dvīni jāņem vērā arī modeļa inicializācijas periods, jo pašreizējam modelim ir uztverams inicializācijas periods (skatīt 3.17.attēlu) ar pārejošiem procesiem, līdz simulācijas izejas kļūst nekustīgas.

Izstrādātajam digitālā dvīņa modelim jābūt ļoti rūpīgi pielāgotiem parametriem un iekšējai konfigurācijai, lai tas atbilstu faktiskajam sakaru tīklam un komunikācijas uzvedībai. Modelis ir izstrādāts, lai nākotnē to paplašinātu precīzāku organizācijas attālinātās darbavietas simulācijas nodrošināšanai. Ir nepieciešams pievienot vairāk sistēmu ietekmējošu faktoru, piemēram, detalizētāku drošības kontekstu, dažādas infrastruktūras nepilnības, organizācijas struktūras un iekšējās hierarhijas ietekmi uz atlasītiem, ar kuru galvenokārt tā mijiedarbojas, atsevišķu komunikācijas aģentu individuālo uzvedību un vairāk nekā divu aģentu saziņas mijiedarbību (piemēram, grupu sanāksmes un grupas komunikācijas ziņojumi). Lai paplašinātu galveno veikspējas rādītāju kopu (piemēram, saistībā ar drošības kontekstu) attālinātās darbavietas modeļa loģika nākotnē būtu jāpaplašina ar papildus statistikas aprēķiniem.

3.5 Praktiskas vadlīnijas drošu un noturīgu servisu nodrošināšanai attālinātā darba vietā

EM modelēšanas tehnikas ir metodes un rīki uzņēmumu modelēšanai, lai atrastu un sagatavotu potenciālos uzlabojumus, kas ietver arī praktiskas vadlīnijas (Bubenko et al., 2001). Zemāk uzskaitīti ieteikumi, kā attālināta darba situācijās nodrošināt drošus un noturīgus servisu.

- Uzņēmumam savlaicīgi izstrādāt vadlīnijas rīcībai attālināta darba apstākļos, kas sevī ietvertu risinājumus, kā:
 - nodrošināt vai atrunāt interneta pieejamību;
 - nodrošināt vai atrunāt digitālo ierīču pieejamību;
 - nodrošināt darbiniekus ar nepieciešamajām ierīcēm un programmatūrām;
 - nodrošināt darbiniekiem drošu piekļuvi sistēmām un resursiem tiešsaistē;
 - apmācīt darbiniekus par minimālajām drošības prasībām, strādājot tiešsaistē;
 - apmācīt vadītājus un darbiniekus darbam tiešsaistē.
- Efektīvas komunikācijas nodrošināšanai izmantot šādus principus:
 - izvēlēties komunikācijas kanālu atkarībā no konteksta;
 - veikt regulāru saziņu ar darbiniekiem individuāli;
 - organizēt regulāras tiešsaistes sapulces;
 - veidot ziņu garumu atkarībā no konteksta;
 - noteikt komunikācijai nepieciešamo laiku;
 - nodrošināt efektīvu kanālu pieejamību ar iespējām dalīties ar failiem, balsi, video un teksta ziņām;
 - nodrošināt datu repozitoriju pieejamību, kuros vienlaikus pie viena faila var strādāt vairāki darbinieki;
 - nodrošināt vadītājus ar atbalsta funkciju.
- Rekomendācijas komunikācijai uzņēmuma rīkotajās sapulcēs (t. i., video konferencēs) un izmantojot elektronisko saziņu:
 - iedrošināt darbiniekus ikdienā savā starpā komunicēt arī neformāli;
 - izmantot kādus no sociālajiem tīkliem, lai būvētu emocionālo kapitālu;
 - nodrošināt regulāras tikšanās;
 - skaidri definēt sapulču struktūru;
 - iepazīstināt ar elektroniskās sarakstes sūtīšanas pieklājības normām (struktūra, atbilžu sniegšanas laika rāmji un adresāti);

- vērst uzmanību uz emocionālā stāvokļa ietekmi uz elektronisko saraksti un cita veida saziņu (piemēram, e-pastus nevajadzētu sūtīt bēdīgā vai emocionāli uzbudinātā stāvoklī);
 - video konferenci sākt ar sanāksmes vadītāja uzrunu un sanāksmes dalībnieku pārskatīšanu (t. i., apzināšanu kas ir/nav ieradies uz sanāksmi);
 - video konferences laikā tās dalībnieki nedrīkst veikt blakus sarunas (piemēram, pa telefonu);
 - sapulces sākumā norādīt uz formu, kādā sapulces dalībnieki var uzdot jautājumus.
- Sekot līdzi uzņēmuma darbinieku motivācijas un apmierinātības līmenim, izmantojot aptaujas un regulāri individuāli komunicējot ar darbiniekiem.
 - Drošas komunikācijas nodrošināšanai izmanto šādus principus:
 - ievērot darba devēja vadlīnijas par attālināto darbu;
 - darba vajadzībām ieteicams izmantot tikai darba devēja ierīces;
 - darba vajadzībām izmantot tikai drošu interneta pieslēguma veidu;
 - informācijas sistēmām un resursiem pieslēgties, izmantojot virtuālo privāto tīklu (*virtual private network, VPN*);
 - darbu uz darbstacijas (t. sk. elektronisko ziņojumu sūtīšanu) veic, nodrošinot, ka trešās personas neredz ierīces ekrānā izvadīto un/vai ievadāmo tekstu;
 - izmantot drošās failu sūtīšanas vai kopdarba pie viena faila iespējas;
 - ārpus darba telpām video sanāksmēs piedalīties tikai, izmantojot austiņas un mikrofonu;
 - dalībnieki, kas sanāksmē piedalās ar video, nodrošina, ka tiem aizmugurē ir neitrāls fons, izmanto rīka fona piedāvātos attēlus vai aizmiglo fonu;
 - atrodoties publiskās vietās, atbildes sniegšanai pa telefonu izmantot tikai vispārīgas, nepersoniskas frāzes, kā arī izvērtēt iespēju sarunu turpināt brīdī, kad darbinieks atradīsies nostāk no sabiedrības;
 - gadījumos, kad tiek pārrunāti īpaši nozīmīgi jautājumi, ar video starpniecību pārliicināties, ka saruna notiek ar konkrēto personu;
 - pirms dalīties ar ekrānu, pārliicināties, ka kādā no atvērtajiem logiem nav redzama ierobežotas pieejamības informācija, personas dati u. tml.;
 - video sanāksmes laikā ekrānā dalīties tikai ar tiem dokumentiem, kas nav ierobežotas pieejamības informācija u. tml.;

- video sanāksmes ierakstīšanu veikt tikai galējas nepieciešamības gadījumā, nodrošināt drošu ieraksta uzglabāšanu un ierobežot piekļuvi tam;
- veikt darbinieku apmācību par drošiem komunikācijas veidiem un citiem ar informāciju tehnoloģijām saistītiem drošības jautājumiem, periodiski kontrolēt drošības nosacījumu izpildi.

Šīs piedāvātās vadlīnijas ir īpaši noderīgas tādās ārkārtas situācijās kā COVID-19 distancēšanās apstākļos 2020. un 2021. gadā, lai nodrošinātu organizācijā efektīvu un drošu iekšējo komunikāciju (*ARTSS VPP-COVID-2020/I-0009*, 2020). Tās var izmantot tehnoloģiju veidotāji un uzņēmumu vadītāji sava darba atbalstam.

Šajā nodaļā tika aprakstīta tehnoloģisko risinājumu pielāgošana attālinātā darba komunikācijas sistēmai. Nodaļas ietvaros tiek aprakstīts autores izstrādāts *4EM* modelis efektīvai un drošai komunikāciju sistēmai, kas ir digitalizēts ar digitālā dvīņa ieviešanu. Nodaļas ietvaros aprakstīts *4EM* modelis, kurš veidots pielietojot *ARTSS* metodiku un validēts izmantojot digitālo dvīni. Izveidotā modeļa *4EM* efektīvas komunikācijas mērķis ir motivēti un apmierināti darbinieki darbā attālināti. Tas tiek mērīts (*KPI*) ar darbinieku apmierinātības un motivācijas līmeni organizācijā kopumā. Šim nolūkam nākamajā nodaļā tiek salīdzināta dažādu mašīnmācīšanās algoritmu darbība ar mērķi atrast piemērotāko algoritmu. Tas tiek testēts uz divām dažādām datu kopām.

4. MAŠĪNMĀCĪŠANĀS ALGORITMS DARBINIEKU MOTIVĀCIJAS UN ILGNOTURĪBAS MĒRĪŠANAI UN PROGNOZĒŠANAI

Mūsdienās biznesa pasaulē AI (mākslīgā intelekta) tehnoloģiju izmantošana ir būtiska un gūst arvien lielāku popularitāti. Šīs tehnoloģijas potenciālu organizācijas varētu izmantot, lai risinātu dažādas problēmu situācijas. AI kalpo uzdevumu automatizēšanai, nākotnes faktu analīzei un pat paredzēšanai. Efektivitāte un labāka vadība ir šādas tehnoloģijas izmantošanas galvenie ieguvumi.

Darbinieku uzvedības izvērtēšanai un prognozēšanai mašīnmācīšanās algoritmi ir pielietoti samērā maz. Līdz šim pētījumos visbiežāk ir pētīti dati ar mērķi paredzēt darbinieku kadru mainību (tabula 1.4). Sistēma "Peero" izmanto mašīnmācīšanās tehnikas, lai analizētu darbinieku iesaisti (Peero, 2021). Līdz šim nav pētījumu par to kādu algoritmu var izmantot ar mērķi apstrādāt datus, kas tieši saistīti ar motivācijas un apmierinātības analīzi, un to ietekmējošo faktoru noteikšanu.

Uzraudzīta mācīšanās tiek izmantota ikreiz, kad ir vajadzība paredzēt noteiktu rezultātu no konkrētā ieguldījuma, un ir pieejami piemēri ievades un izvades pāriem. No šiem ievades un izvades pāriem tiek veidots mašīnmācīšanās modelis, kas ietver esošo apmācību komplektu. Ar algoritmu palīdzību, apstrādājot lielāka un mazāka apjoma datus, iespējams ar augstu precizitāti noteikt, kāds ir darbinieku motivācijas līmenis un noteikt, kāds ir šo rādītāju iemesls. Turpmāk aprakstīto algoritmu izvades rezultāts ir kadru mainība uzņēmumā. Ar šo algoritmu palīdzību ir iespējams prognozēt, kuri no darbiniekiem vēlas uzņēmumā palikt un kuri, iespējams, no uzņēmuma varētu aiziet.

Pirmajā daļā tiek veikta mazākas datu kopas analīze (n=102) un labāko algoritmu izvēle, kā arī tiek veiktas atziņas par motivācijas faktoru nozīmīgumu. Turpinājumā tiek piemērota lielāka datu kopa (n=1470) – analizēti dati, sniegts teorētiskais pamatojums modeļa konfigurēšanai un veikta datu priekšapstrāde. Arī uz šo datu kopu tiek testēta vairāku (sešu) algoritmu darbība un salīdzināti secinājumi par piemērotākā algoritma izvēli. Tiek skaidrota *CART* metode un sniegts detalizēts algoritma pielietošanas apraksts. Rezultātā tiek aprakstīti dažādu algoritmu darbības rādītāji un izvēlētā algoritma dotie izvades dati.

4.1 Ievades dati motivācijas mērīšanai

Algoritma pirmā fāze tika veidota uz darbinieku motivācijas datu analīzes pamata. Tika veikta anonīma tiešsaistes aptauja, kas aptvēra darba motivācijas un tehnoloģiju izmantošanas tēmas. Kopumā uz aptauju atbildēja 102 respondenti. Visi respondenti bija

pilngadīgi un labprātīgi piekrita veikt šo aptauju. Nebija trūkstošu datu un nebija datu pārklāšanās. Aptauja tika veikta starptautiski, aptverot 26 dažādas tautības un plašu vecuma diapazonu (19-63 gadus veci). Kopumā 60% (n = 62) respondentu ir bakalaura grāds un 23% (n = 24) ir augstāks grāds. Dzimums ir sadalīts diezgan vienādi: 58% (n = 59) vīriešu un 40% (n = 41) sievietes. Kopumā 27,4% (n = 28) respondentu 100% sazinās, izmantojot uz tehnoloģijām balstītus komunikācijas rīkus, un 19,61% (n = 20) respondentu sazinās 50% vai mazāk, izmantojot tehnoloģijās balstītus komunikācijas rīkus.

Jautājumi svārstījās no pilnībā piekrītu (10) līdz pilnībā nepiekrītu (1) Likerta 10-punktu skalā. Papildus 93 Likerta 10-punktu skalas jautājumiem tika iekļauti septiņi aprakstoši jautājumi un divi atvērti jautājumi. Motivācija tika mērīta ar 59 jautājumiem, kas ņemti no Smereka un Petersona (2006) anketas, un tika pielāgoti šai aptaujai (Smerek et al., 2006). Šī ir pārbaudīta un plaši izmantota anketa motivācijas mērīšanai ar augstiem korelācijas rādītājiem. Iekšējās motivācijas jautājumi ietvēra jautājumus par atzinību, pašu darbu, izaugsmes iespējām, profesionālās izaugsmes iespējām, labām izjūtām par organizāciju un misijas skaidrību. Ārējie motivatori tika mērīti ar jautājumiem par augstāko vadību, efektīvu uzraudzību, labām attiecībām ar kolēģiem un apmierinātību ar algu. Komunikācijas tehnoloģiju koncepcija tika pētīta, izmantojot 27 Likerta 10-punktu skalas jautājumus, ieskaitot tehnoloģiju izmantošanu darbā, komunikācijas programmas un komunikācijas tehnoloģiju papildu iespējas. Rezultāti tika apstrādāti SPSS un PSPP programmās.

Lai novērtētu sakarības starp mainīgajiem, tika veikta Bivariate (*Pearson*) korelācijas analīze. Visi skalas jautājumi parādīja būtiskas korelācijas viņu iekšējās kategorijās. Korelācijas koeficienta novērtēšanai tiks izmantots Koena (*Cohen*) standarts, kur 0,50 vai lielāks ir spēcīga saistība (Cohen, 1988).

Apstrādājot datu kopu, var secināt, ka vadības komunikācija ar saviem darbiniekiem rada vispārēju sajūtu par uzņēmumu un pašu darbu (tabula 4.1). Respondenti, kuri domā, ka viņu vecākie vadītāji informē darbiniekus, arī domā, ka viņu darbs ir interesants (0,56), patīk viņu darbs (0,65), ir laba sajūta par paveikto (0,59) un jūt, ka viņu darbs rada izmaiņas (pievienoto vērtību) organizācijā (0,60).

4.1. tabula

Korelācija starp augstāko vadību un pašu darbu (Pratt et al., 2021).

Mainīgais (N=102)	1	2	3	4	5
1 Augstākā vadība darbiniekus informē					
2 Man patīk šāda veida darbs	.65				
3 Mans darbs ir interesants	.56	.80			
4 Mans darbs dod man gandarījuma sajūtu par paveikto	.59	.78	.79		
5 Mans ieguldījums uzņēmumā ir nozīmīgs	.60	.60	.62	.70	

Komunikācija ar vadību rada kopējās sajūtas par uzņēmumu. Darbinieki saista sajūtu par savu darbu ar augstākās vadības iesaisti. Darbiniekiem, kuriem vispārīgi patīk viņu darbs, ir pozitīvākas sajūtas par savu uzņēmumu (tabula 4.2). Respondenti, kuriem patīk savs darbs, izjūt spēcīgu piederību (0,55) un uzticību (0,62) organizācijai. Viņi lepojas, ka strādā šajā organizācijā (0,55) un rūpējas par organizācijas nākotni (0,54). Tie, kuri uzskata, ka viņi kaut ko maina savā organizācijā (viņu ieguldījums uzņēmumā ir nozīmīgs), arī izjūt spēcīgu piederības sajūtu (0,62) un uzticību (0,53), kas tāpat liek viņiem rūpēties par šīs organizācijas nākotni (0,56).

Darbiniekiem, kuriem patīk darbs, ko viņi dara, ir labāka sajūta par organizāciju. Rezultāti 4.2. tabulā parāda augstākās vadības un komunikācijas nozīmi uzņēmumā. Darbiniekiem ir svarīgi saprātīgi izvēlēties savu karjeras ceļu, taču vadība arī var ietekmēt darbinieku izjūtas par paveikto darbu un to, vai darbs viņiem patīks.

4.2. tabula

Korelācija starp pašu darbu un labu sajūtu par organizācijas faktoriem (Pratt et al., 2021).

Mainīgais (N=102)	1	2	3	4	5	6	7
1 Man patīk šāda veida darbs							
2 Mans darbs dod man gandarījuma sajūtu par paveikto	.78						
3 Mans ieguldījums uzņēmumā ir nozīmīgs	.60	.70					
4 Es izjūtu spēcīgu piederību organizācijai	.55	.58	.62				
5 Esmu cieši apņēmies darboties organizācijā	.62	.60	.53	.65			
6 Es lepojos, ka strādāju šajā organizācijā	.55	.57	.48	.58	.77		
7 Man rūp organizācijas nākotne	.54	.57	.56	.61	.69	.77	

Vēl viens efektīvas komunikācijas ieguvums ir darba rezultātu un darbinieku atpazīšana, kas ir viens no kritiskākajiem motivācijas iekšējiem faktoriem (tabula 4.3). Darbinieki uzskata,

ka viņu labo darbu atzīst augstākā vadība, ja darbiniekus informē (0,70) un viņu idejas tiek apsvērtas (0,67). Darbinieki uzskata, ka viņu ieguldījums ir augstākās vadības novērtēts, ja viņus informē (0,66). Tiešajam vadītājam ir liela ietekme uz novērtējuma sajūtu. Darbinieki uzskata, ka viņu labi paveiktais darbs ir novērtēts tad, ja tiešais vadītājs ir tāds, kurš efektīvi pārvalda cilvēkus (0,70), veicina uzticēšanos (0,71) un atzīst viņu darbu par labu (0,73). Viņi arī uzskata, ka viņu ieguldījums tiek novērtēts, kad vadītājs apsver viņu idejas (0,67).

4.3. Tabula

Korelācijas starp augstāko vadību, vadītāju un atzīšanas faktoriem (Pratt et al., 2021)

Mainīgais (N=102)	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Augstākā vadība darbiniekus informē								
2 Augstākā vadība pamana labi padarītu darbu	.70							
3 Augstākā vadība novērtē manus centienus	.66	.84						
4 Mans vadītājs efektīvi vada cilvēkus	.67	.70	.67					
5 Mans vadītājs rada vidi, kas veicina uzticēšanos	.54	.71	.61	.77				
6 Mans vadītājs pamana manu labi paveikto darbu	.56	.73	.57	.70	.76			
7 Mans vadītājs apsver manas idejas	.52	.67	.51	.61	.74	.75		
8 Iekšējie kandidāti saņem taisnīgu izskatīšanu atvērtajiem amatiem	.62	.75	.71	.51	.58	.52	.55	

Augstākā vadība un vadītāji ir atbildīgi par to, lai viņu darbinieki justos atzinīgi novērtēti. Pēc datu izpētes ir skaidrs, ka saziņa ar darbiniekiem ir ļoti svarīgs darba motivācijas faktors. Galvenajai vadībai un vadībai ir galvenā loma darbinieku motivēšanā gan uz tehnoloģijām balstītā komunikācijā, gan klātienē komunikācijā. Uz tehnoloģijām balstītas komunikācijas apjoms uzņēmumā parāda augstu korelāciju ar efektīvu darbu, izmantojot tehnoloģijas (0,85) (Pratt et al., 2021). Darbinieki, kas strādā vairāk, izmantojot tehnoloģijas, tās izmanto arī neoficiālai saziņai ar citiem kolēģiem (0,51). Tie respondenti, kuri dod priekšroku saziņai, izmantojot tehnoloģijas, nevis klātienē, šos saziņas līdzekļus izmanto arī neoficiālai saziņai ar kolēģiem (0,65). Netika atrastas nozīmīgas sakarības ar citiem faktoriem.

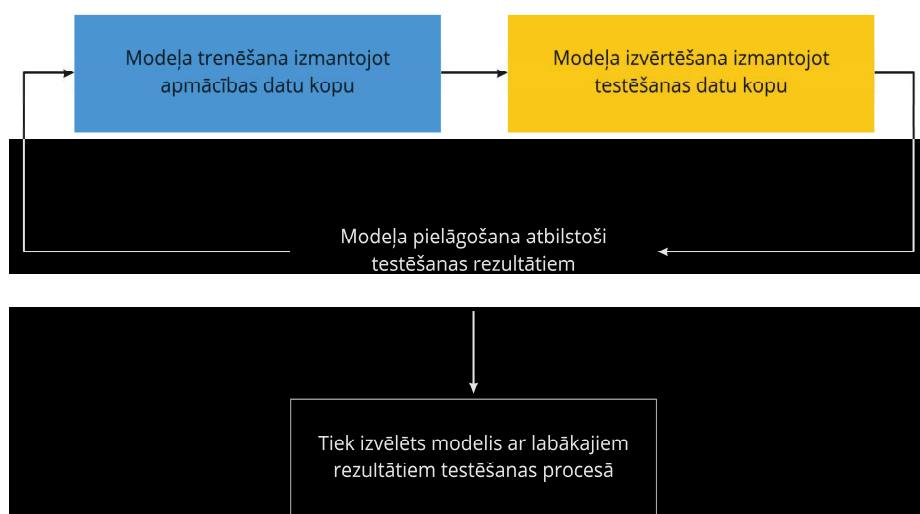
Netika atrasta korelācija starp darbinieku apmierinātību, motivāciju, un komunikāciju, lietojot tehnoloģiskos rīkus. Vadītājiem ir visspēcīgākā ietekme uz motivācijas faktoriem. Šo rezultātu analīze neuzrādīja komunikācijas veida nozīmi, bet izcēla līderu prasmju izmantošanu. Tas parāda, ka ir iespējams sazināties, izmantojot tehnoloģijas un motivēt darbiniekus ar tādu pašu efektivitāti kā klātienē saziņā. Vadītājiem ir vairāk izaicinājumu

virtuālajās komandās nekā tiem, kuri galvenokārt strādā klātienē (Pauga et al., 2019). Šie datu analīzes rezultāti ir pamatojums promocijas darba 3.tēzei.

4.2 Datu apstrāde ar mašīnmācīšanās algoritmiem un iegūto rezultātu testēšana

Algoritma izstrādes procesā tiek veikti sekojoši soļi (attēls 4.1):

- Modeļa trenēšana, izmantojot apmācības datu kopu;
- Modeļa izvērtēšana, izmantojot testēšanas datu kopu;
- Modeļa pielāgošana atbilstoši testēšanas rezultātiem;
- Veiksmīgākā modeļa izvēle, pamatojoties uz testēšanas kopas apstrādes rezultātiem.



4.1. att. Veiktā pētījumā algoritma izveides process.

Izmantotā datu kopa tiek sadalīta divās daļās – algoritma apmācības datu komplekts, kuram izmantoti 80% datu un testēšanas datu komplekts, kuram izmantoti atlikušie 20% datu. Turpmākajās nodaļās algoritma izstrādes un datu apstrādes process tiek izklāstīts paplašināti.

4.2.1 Datu modelēšanas process

Prognozēšanas modeļi ļauj ļoti precīzi prognozēt dažus jautājumus, izmantojot iepriekšējos vai vēsturiskos datus. Rezultāti var atklāt faktorus, kas visvairāk veicina šos rezultātus. Citiem vārdiem sakot, tas ļaus atrast visatbilstošākās pazīmes, kas spēcīgi ietekmē datu kopu. Šajā gadījumā piedāvātā modeļa mērķis ir noteikt, vai darbinieki ir apmierināti, tāpēc šis modelis var izmantot prognozes skaidrojumu, lai gūtu ieskatu darbinieku mainībā.

Sistēma ir sadalīta divās fāzēs: apmācības fāze un aplikācijas fāze. Pirmā ir paredzēta, lai apmācītu datus, noteiktu saistību starp pazīmēm saskaņā ar vēsturiskajiem datiem. Otrā ir

paredzēta, lai noteiktu, vai darbinieks (vai darbinieku grupa) pametīs savu darbu. Šajā gadījumā algoritma precizitātes pārbaudei šajā fāzē tika izmantoti 20% datu kopas.

Papildus jautājumiem par demogrāfiju un tehnoloģiju izmantošanu mērāmos atribūtus varētu sadalīt trīs grupās (Smerek et al., 2006):

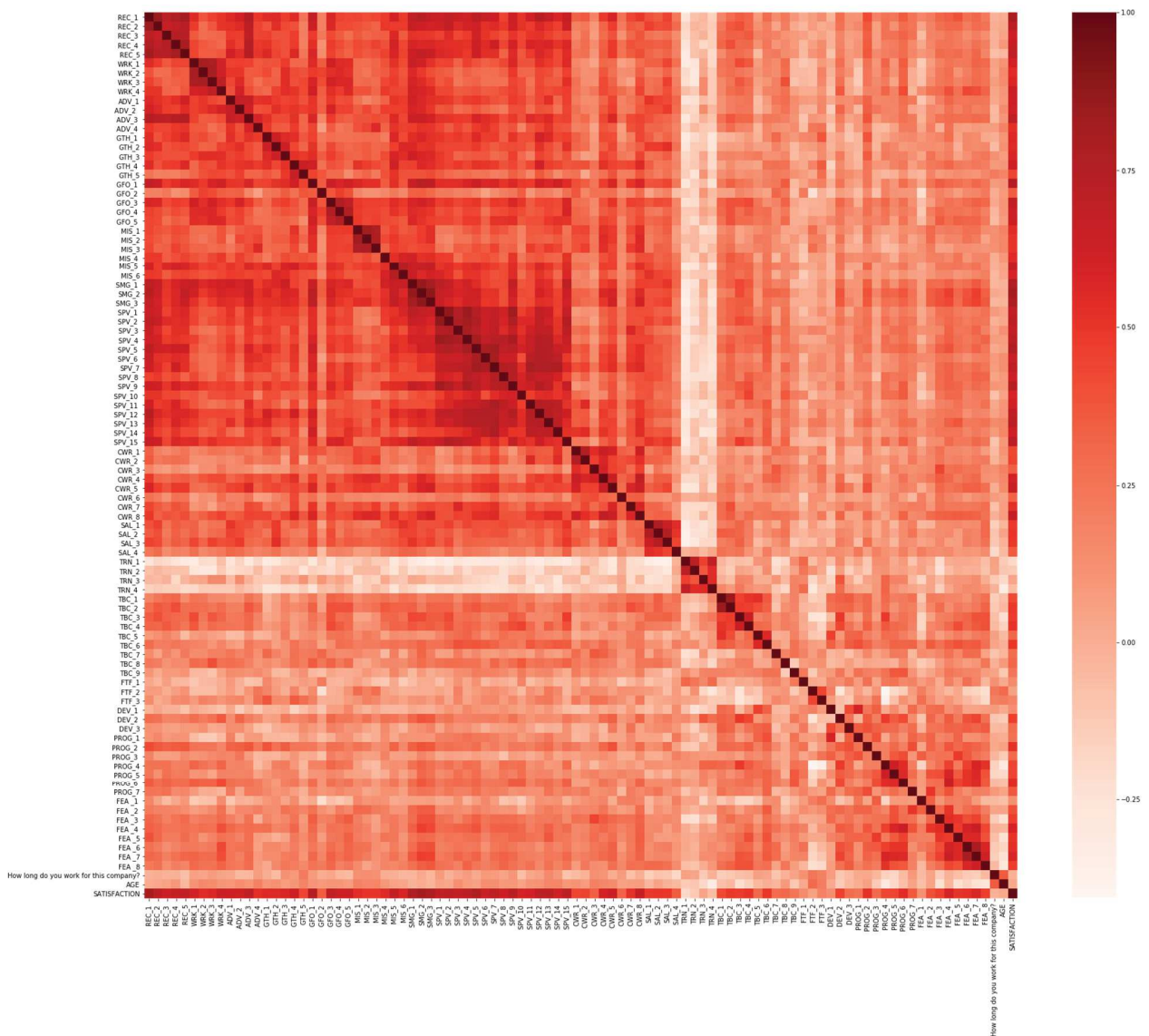
- Motivācija:
 - Iekšējie faktori (REC, WRK, ADV, GTH, GFO un MIS);
 - Ārējie faktori (SMG, SPV, CRW, SAL, BEN un VAL);
- Apmierinātība (SAT);
- Vēlme pamest darbu (TRN).

Herzberga divu faktoru teorija sadalīja motivācijas faktoros motivatoros (iekšējos) un higiēnas (ārējos) faktoros (attēls 1.3). Šie faktori tiek izmantoti motivācijas mērīšanai. Motivatori ir faktori, kas rada patiesu gandarījumu. Šie faktori ietver atzinību (REC), pašu darbu (WRK), izaugsmes iespēju (ADV), profesionālās izaugsmes iespējas (GTH), atbildību, labu sajūtu par organizāciju (GFO) un misijas skaidrību (MIS). Higiēnas faktori ir tie, kas nepieciešami darbiniekiem, lai izvairītos no neapmierinātības. Šie faktori ir efektīva augstākā vadība (SMG), efektīvs vadītājs (SPV), labas attiecības ar kolēģiem (CWR), apmierinātība ar algu (SAL), apmierinātība ar pabalstiem (BEN) un pamatvērtību klātbūtne (VAL). Šo faktoru apzīmējumu atšifrējumi ir tulkoti no angļu valodas, aptaujas jautājumi atrodami Pielikumā 3. Tikai tad, ja šie faktori ir neitrāli un apstākļi ir optimāli, ir iespējams tikt motivētam no iekšējiem faktoriem (Herzberg et al., 1959; Herzberg, 2003).

4.2.2 Datu apstrāde

Šajā posmā tiek izpētīti, kārtoti un analizēti dati, kas iegūti no neapstrādātas datu kopas. Kā arī tiek atlasīti visatbilstošākie dati, kas varētu uzlabot prognozēšanas precizitāti. Tipiski šajā posmā tiek:

- atrastas un apstrādātas trūkstošās vērtības;
- savā starpā salīdzināti dažādi mainīgie lielumi un pārbaudīta korelācija (attēls 4.2) (4.2.attēls ir prezentēts tikai ilustratīviem nolūkiem);
- piedāvātas vairākas hipotēzes par datu kopas ģenerēšanas cēloņiem;
- ja nepieciešams, ierosināti jauni datu avoti, kas palīdzētu labāk izprast šo parādību.



4.2. att. Korelācija starp visiem datu kopā parādītajiem atribūtiem. Baltā krāsā: atribūti, kas nav savstarpēji saistīti. Sarkanā krāsā: korelācijas pakāpe ar citiem atribūtiem (Pratt et al., 2020).

Šo datu apstrādei, vadoties pēc teorijas izpētes, tika izvēlētas četras dažādas statistiskās modelēšanas pieejas, kas izmantotas, lai apmācītu datus un atrisinātu izskatīto problēmu: Atbalsta vektoru mašīnu (SVM), Loģistiskā regresija, Izlases mežs un K-tuvāko kaimiņu metode.

Atbalsta vektoru mašīna (SVM). Šie lielie starpības atdalītāji ir uzraudzītu mācību metožu kopums, kas paredzēts diskriminācijas un regresijas problēmu risināšanai. SVM ir lineāru klasifikatoru vispārinājums. SVM ir piemērots datu kopām ar lielu daudzumu atribūtiem. Saskaņā ar datiem atbalsta vektoru mašīnu veiktspēja ir tādā pašā secībā vai pat labāka nekā neironu tīkla vai Gausa maisījuma modeļa veiktspējai (Y. Yang et al., 2012).

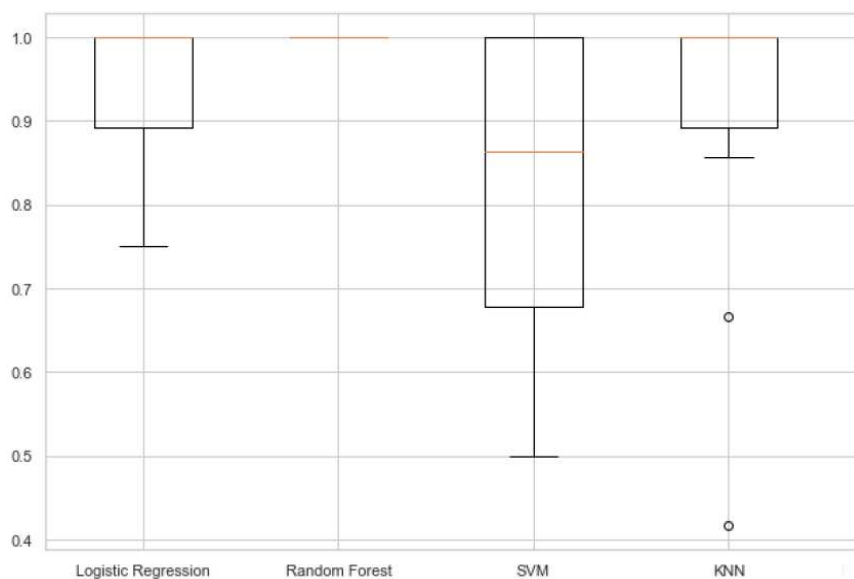
Loģistiskā regresija. Šī prognozēšanas tehnika ir viens no visbiežāk izmantotajiem analīzes modeļiem. Tās mērķis ir izveidot modeli, kas ļauj prognozēt / izskaidrot kvalitatīvā mērķa mainīgā vērtības (visbiežāk bināro loģistisko regresiju; ja tai ir vairāk nekā divas modalitātes, tad daudzatomisko loģistisko regresiju) no kopas kvantitatīvo vai kvalitatīvo skaidrojošo mainīgajiem lielumiem (Gutiérrez et al., 2010).

Izlasses meži. Šis algoritms apvieno nejaušo apakšvietu un maisu jēdzienus. Izlasses meža algoritms veic apmācību vairākiem lēmumu kokiem, kas apmācīti uz nedaudz atšķirīgām datu apakškopām (Liu et al., 2019). Atsevišķi lēmumu koki tiek ģenerēti, izmantojot nejaušu datu atlasī katrā mezglā, lai noteiktu sadalījumu. Katrs koks ir atkarīgs no nejauša vektora vērtībām, kas atlasītas neatkarīgi un ar vienādu sadalījumu visiem meža kokiem. Klasifikācijas laikā katrs koks “balso” un tiek izvēlēta populārākā klase (Han et al., 2011).

K-tuvāko kaimiņu metode (KNN). K-tuvākā kaimiņu metode ir uzraudzīta mācību metode, saīsinājumā k-NN vai KNN. Šajā kontekstā tiek izmantota mācību datu bāze, kas sastāv no N “input-output” (ievades-izvades) pāriem. Lai novērtētu ar jaunu ievadi x saistīto izvadi, KNN metode (identiski) ņem vērā k apmācības paraugus, kuru ievade ir vistuvāk jaunajai ieejai x, atbilstoši definējamam attālumam (Lu et al., 2015).

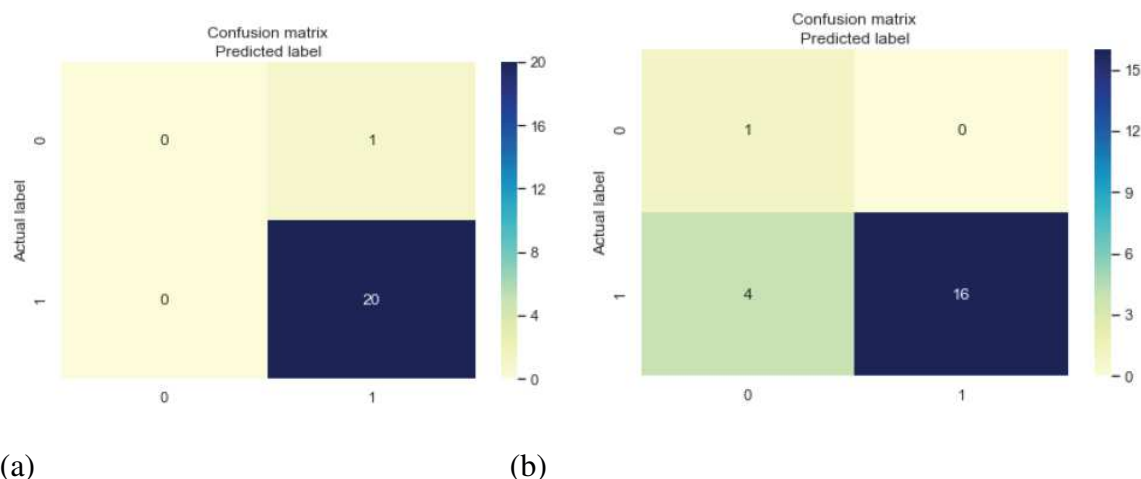
4.2.3 Datu testēšana un prognožu izdarīšana

4.3. attēlā parādīts dažādu šajā posmā izmantoto ML algoritmu salīdzinošais pētījums. Pamatojoties uz šo salīdzinājuma analīzi, Loģistiskās regresija un Izlasses meža algoritms uzrāda augstākos vidējos AUC rādītājus.



4.3. att. Box plot diagramma, salīdzinot algoritmu darbības rezultātus (Pratt et al., 2021).

Lai analizētu šo algoritmu veiktspēju, tika izveidotas *Confusion* matricas šīm metodēm. Tā ir salīdzinoša analīze starp Izlases meža un Loģistiskās regresijas *Confusion* matricām, kas iegūtas testa fāzē (attēls 4.4). Kreisajā pusē – Izlases meža algoritms ar precizitāti 95,24%. Labajā pusē – testa komplekta Loģistiskās regresijas klasifikators ar precizitāti 80,95.

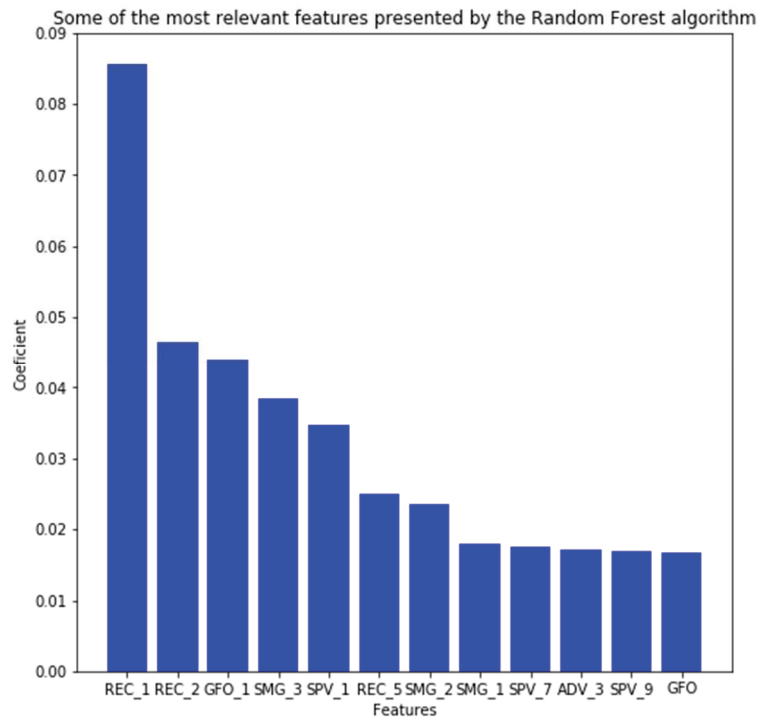


4.4. att. *Confusion* matricas prognozēšanas analīze, salīdzinot mašīnmācīšanās algoritmus (a) Izlases mežs un (b) Loģistiskā regresija (Pratt et al., 2021).

Abās no matricām patiesais pozitīvais (labais apakšējais stūris) norāda uz algoritma spēju paredzēt notikumu un šis notikums ir piepildījies – tika paredzēts, ka aptaujātie darbinieki ir apmierināti ar savu darbu, un algoritms šos darbiniekus pareizi kategorizējis. Izlases meža (a) matricā darbinieki (20), kuri bija apmierināti ar savu darbu, tika pareizi identificēti ar ML algoritmu. Loģistiskās regresijas (b) matricā darbinieki (16), kuri bija apmierināti ar savu darbu, tika pareizi identificēti ar ML algoritmu.

Izlases mežs iekļauj vairākus lēmumu koku klasifikatorus dažādiem datu kopas apakšparaugiem un izmanto vidējo rādītāju, lai uzlabotu prognozēšanas precizitāti un kontrolētu pārmērīgu uzstādīšanu. Izlases meža algoritms var apstrādāt lielu skaitu funkciju un ir noderīgs, lai novērtētu, kuri no mainīgajiem ir svarīgi modelējamajos pamatdatos.

Lai izdarītu prognozes, dati tika apstrādāti ar Izlases meža algoritmu, kurš uzrādīja labāko darbības un prognožu precizitāti. Rezultātā iegūtas visatbilstošākās pazīmes, kas atbildīgas par **darbinieka apmierinātību** saskaņā ar esošo datu kopu (Pratt et al., 2021). Daži no visnozīmīgākajiem faktoriem ir attēloti 4.5. attēlā pēc to nozīmīguma secības (pa kreisi – ietekmīgāki). X asī: pazīmes pēc svarīguma secības, Y asī: svarīguma pakāpe (/ 0,1).



4.5. att. Dažas no visatbilstošākajām iezīmēm, ko piedāvā Izlases meža algoritms (Pratt et al., 2021).

Tabulā 4.4 atainoti 10 faktori, kuri visvairāk ietekmē Apmierinātības rādītāju šajā datu kopā.

4.4. tabula

Visatbilstošākās iezīmes, ko iegūst Izlases meža algoritms (Pratt et al., 2021).

Feature	Coefficient
REC_1	0.085641
REC_2	0.046565
GFO_1	0.044058
SMG_3	0.038517
SPV_1	0.034761
REC_5	0.024978
SMG_2	0.023529
SMG_1	0.018062
SPV_7	0.017657
ADV_3	0.017084

Izmantojot Izlases meža algoritmu, kurš uz šo datu kopu uzrādīja ar visaugstāko precizitāti, (attēli 4.3 un 4.4), tika noteikti faktori, kuri visvairāk ietekmē darbinieku apmierinātību. Galvenie ietekmējošie faktori ir:

- atzinība:
 - (REC_1) mans darba devējs pamana labi padarītu darbu (0,0856);
 - (REC_2) darba devējs novērtē manus centienus (0,0465);
- labas izjūtas par organizāciju:
 - (GFO_1) es izjūtu spēcīgu piederību organizācijai (0,044);
- efektīva augstākā vadība:
 - (SMG_3) augstākā vadība demonstrē vadības praksi, kas atbilst mūsu organizācijas noteiktajām vērtībām (0,0385);
- efektīvs tiešais vadītājs:
 - (SPV_1) mans vadītājs labi komunicē (0,0347).

Interesanti, ka šie visi ir raksturīgi faktori, kas apstiprina, ka ar atalgojumu un pabalstiem nepietiek, lai būtu apmierināti un ilgstoši darbinieki.

Atzinība un labas izjūtas par organizāciju ir iekšējie faktori, kurus var īstenot tad, ja ārējie faktori – efektīva augstākā un tiešā vadība – ir normas robežās. Apmierinātība nekorelēja ar nevienu no faktoriem, kuri būtu saistīti ar komunikāciju, izmantojot tehnoloģijas. Tieši tāpat arī darba samaksas apmēram neuzrādījās augsta ietekme uz darbinieku apmierinātību. Neliela korelācija (0,017) uzrādījās izaugsmes iespēju iekšējam faktoram ADV_3 (iekšējie kandidāti saņem taisnīgu izskatīšanu atvērtajiem amatiem).

Pēc šīs analīzes var secināt, ka darbinieku apmierinātību galvenokārt ietekmē ar motivāciju saistītie faktori un vadības darbs, nevis tehnoloģija vai finansiālie faktori. Bez šaubām, darba atalgojumam un bonusiem ir liela nozīme, bet, ja augstāk minētie faktori nebūs normas robežās, tad algas palielinājums vai papildus praktisko labumu sniegšana nebūs ilgtermiņa risinājums, lai nodrošinātu darbinieku apmierinātību un zemu kadru mainību uzņēmumā. Iespējams, darbinieki uzņēmumā un savā amatā paliktu, bet viņu motivācija strādāt un būt produktīviem var būt samazināta.

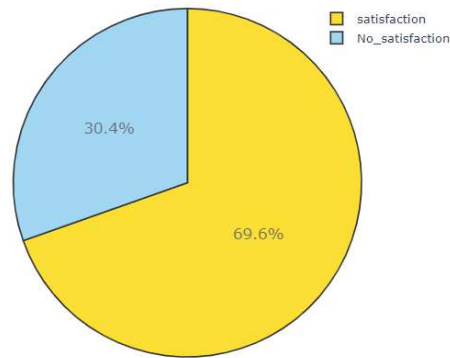
4.3 Datu apstrāde ar paplašinātu datu kopu

Pēc pirmās datu kopas analīzes radās vajadzība pēc algoritma apmācības uz lielāku datu kopu. Kā otrais avots tika pielietots *Kaggle* repozitorijs ar “IBM HR Analytics Employee Attrition Performance” datu kopu (Kaggle, 2017). Nodaļā 4.3.2. atrodams autores veiktās

analīzes salīdzinājums ar citu autoru pētījumiem, izmantojot šo datu kopu (Alaskar et al., 2019; Bhuvā et al., 2018; Cowie et al., 2001; Jain et al., 2018; Yang et al., 2020). Šajā datu kopā apkopoti dati par 1470 darbiniekiem ar 35 atribūtiem. Atribūti ietver vairākus aprakstošus rādītājus. Galvenais mērķis otrajai analīzei un algoritma pielāgošanai ir kadru mainības izpēte un prognozēšana. Šie dati ir īpaši nozīmīgi un unikālu algoritma izstrādē, jo tiek piedāvāti reālie dati par darbiniekiem, kuri uzņēmumā ir palikuši, un kuri no darbiniekiem ir aizgājuši no uzņēmuma. Tādējādi ar algoritmu palīdzību iespējams izpētīt, kuri no faktoriem ietekmē šo rezultātu un kā algoritmi strādā ar šādu datu kopu. Jāpiebilst, ka algoritmu paredzēts izmantot motivācijas datu (sk. iepriekšējo nodaļu) apstrādei savienojumā ar prognozi par iespējamo kadru mainību, kura tiks apskatīta šajā nodaļā.

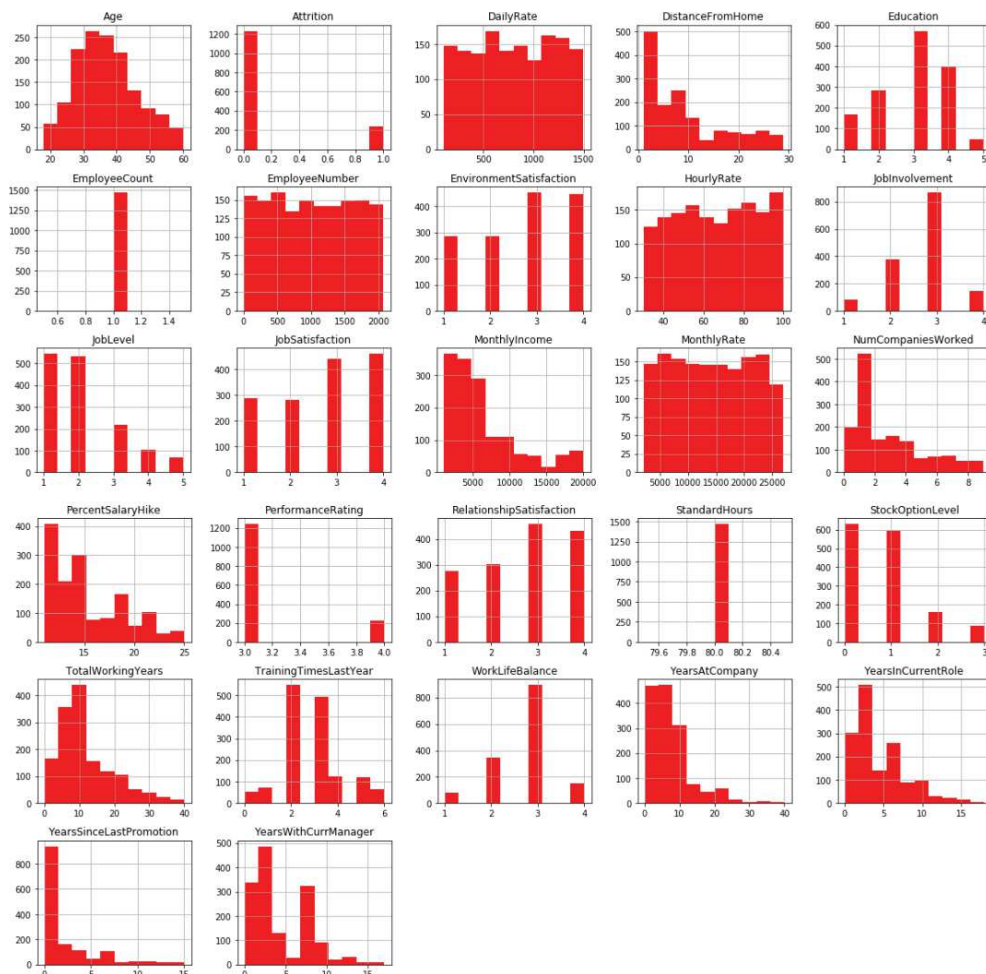
Galvenās datu kopā norādītās pazīmes (atribūti) ir Vecums, Aiziešana no darba, Darījumu braucieni, Dienas likme, Departaments, Attālums no mājām, Izglītība, Izglītības joma, Darbinieku skaits, Apmierinātība ar vidi, Dzimums, Stundu likme, Iesaistīšanās darbā, Darbs Līmenis, Darba loma, Apmierinātība ar darbu, Ģimenes stāvoklis, Mēneša ienākumi, Mēneša likme, Uzņēmumu skaits darbā līdz šim, Vecums vairāk nekā 18, Virsstundas, Algas paaugstināšana procentos, Darbības novērtējums, Apmierinātība ar attiecībām uzņēmumā, Standarta stundas, Akciju opciju līmenis, Kopējie darba gadi, Apmācības laiki pēdējā gada laikā, Darba-privātās dzīves līdzsvars, Gadi šajā uzņēmumā, Gadi pašreizējā darba lomā, Gadi kopš pēdējās paaugstināšanas amatā, Gadi ar pašreizējo vadītāju. Darbinieku motivējošos faktoros raksturojošie pasākumi ir atalgojums un pabalsti, iesaistīšanās darbā un apmācība. Arī vairāki apmierinātības rādītāji – vide, attiecības un apmierinātība ar darbu. Lielākā daļa datu kopas (83%) pārstāv darbiniekus, kuri tajā laikā ir nodarbināti uzņēmumā, un datu kopas otrā daļa ir vēsturiski dati no darbiniekiem, kuri vairs nav nodarbināti uzņēmumā (16%). Rūpīgāk aplūkojot datus, var iegūt vairāk statistikas datu par uzņēmumu. Analīze 4.6 attēlā sniedz ieskatu vispārējā datu kopas informācijā (Pratt et al., 2021).

Kopumā šajā uzņēmumā ir augsts apmierinātības līmenis – gandrīz 70% darbinieku ir apmierināti (attēls 4.6).



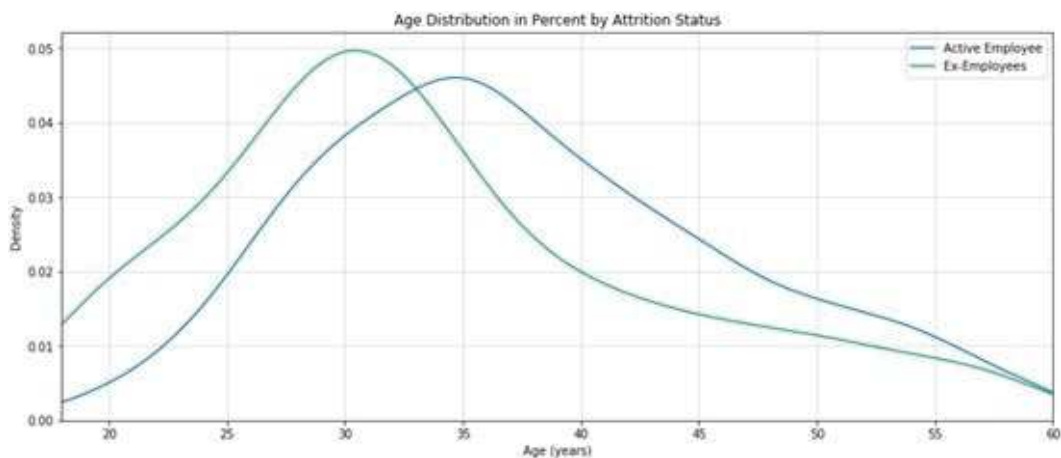
4.6. att. Darbinieku sadalījums pēc apmierinātības rādītāja (Pratt et al., 2021).

Viens no aprakstiem, kas var dot interesantu ieskatu, ir vecums (4.7.attēls). Šis skaitlis parāda darbinieku sadalījumu atbilstoši viņu vecumam. Grafiks parāda, ka lielākā daļa uzņēmuma darbinieku ir vecumā no 25 līdz 45 gadiem. Tas norāda, ka darbinieki, kas strādā uzņēmumā, ir samērā jauni. No otras puses, ja salīdzina to pašu atribūtu atbilstoši mērķa pētījumam (aiziešana no darba), attēlā 3.24 ir parādīts cits vecuma sadalījums.



4.7. att. Datu sākotnējā apskate un reprezentācija diagrammās (Pratt et al., 2021).

4.8. attēlā attēlots aktīvo darbinieku (zilā līnija) un bijušo darbinieku (zaļā līnija) salīdzinošais sadalījums atbilstoši viņu vecumam kadru mainības prognozei.

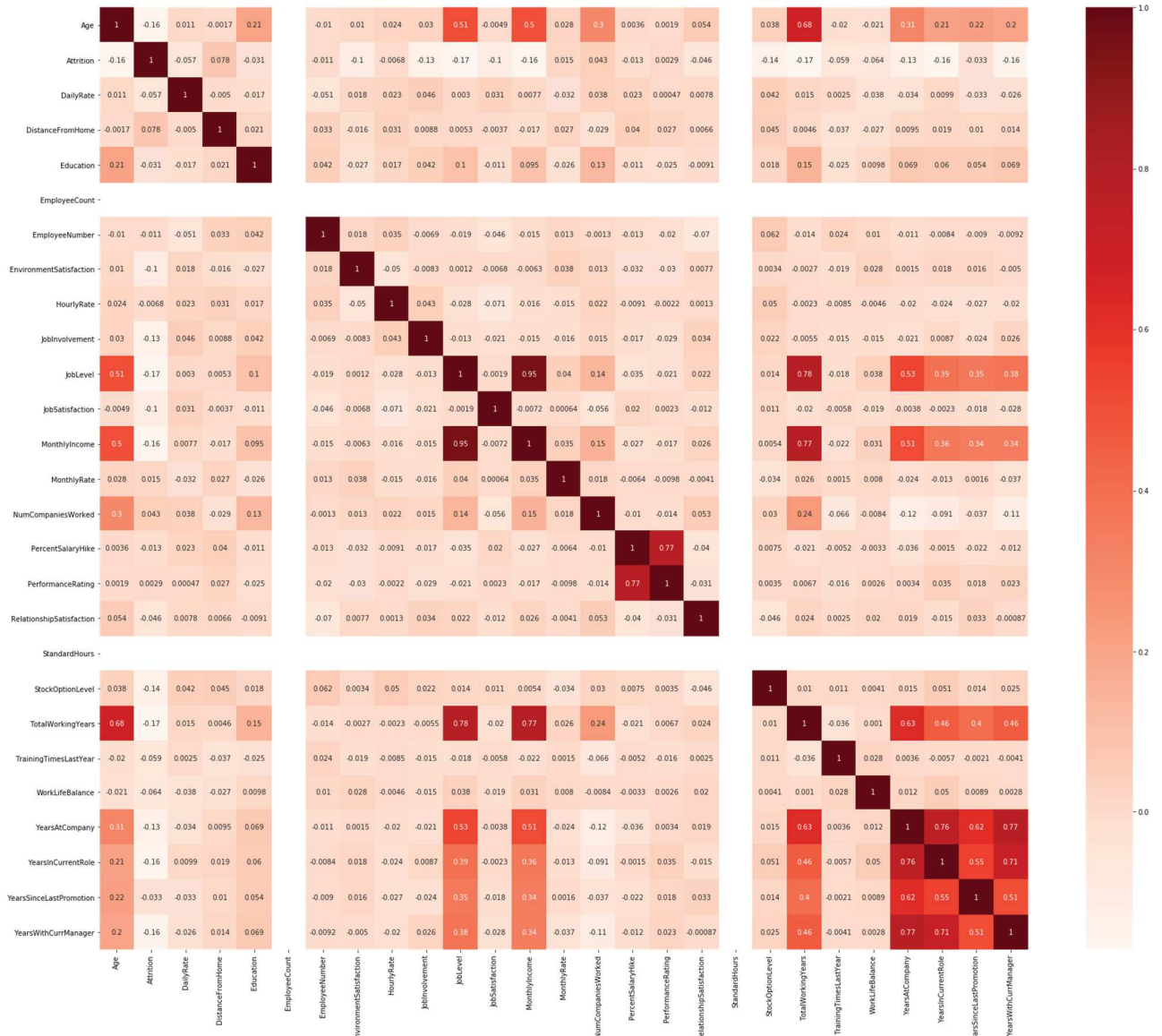


4.8. att. aktīvo darbinieku un bijušo darbinieku salīdzinošais sadalījums atbilstoši viņu vecumam (Pratt et al., 2021).

Grafikā redzams, ka bijušie darbinieki vecumā no 25 līdz 35 gadiem bija augstā riska zonā, lai no darba aizietu. Aktīvie darbinieki vecumā no 30-40 gadiem ir augstākajā riska zonā aiziet no darba. Tomēr šis novērtējums nespēj parādīt iemeslus un faktoros, kas ir atbildīgi par viņu uzvedību.

4.3.1 Datu priekšapstrāde un korelācijas analīze

Mainīgie lielumi tika salīdzināti un korelācijas pārbaudītas, izmantojot Pīrsona korelāciju (attēls 4.9) (Pearson, 1897).



4.9. att. Datu sākotnējās korelācijas analīzes rezultāti. Tumši sarkans – augsta korelācija. Gaiši sarkans – zema korelācija (Pratt et al., 2021).

Šī analīze deva sākotnējo priekšstatu par datu kopu. Tā kā šajā pētījumā galvenā uzmanība tiek pievērsta darbinieku aiziešanai no darba, no datu kopas tika atlasītas augstākās korelācijas ar aiziešanas rādītājiem (tabula 4.5). Lai gan šīs korelācijas pār Pearson teorijas netiek uzskatītas par nozīmīgām, šie rādītāji dod priekšstatu par to, kuri no 35 atribūtiem var tikt saistīti ar darbinieku aiziešanu no darbu. Pētījuma turpinājumā algoritms šos faktoros klasificēs ar daudz lielāku precizitāti, tādejādi šī analīze (tabula 4.5) ir tikai priekšizpētes uzskatei un sākotnējam priekšstatam.

4.5. tabula

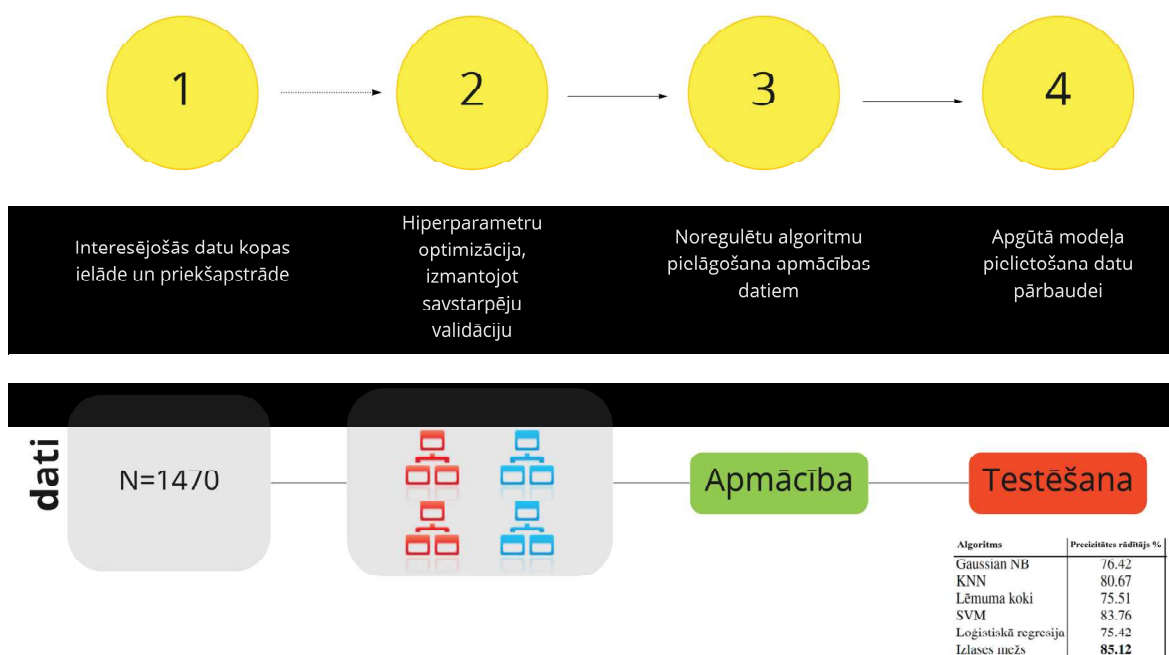
Augstākās vērtības korelācijai ar kadru mainību (Pratt et al., 2021).

Faktors	Korelācija ar kadru mainību
Darba līmenis	-0,17
Kopējie darba gadi	-0,17
Vecums	-0,16
Mēneša ienākumi	-0,16
Gadi pašreizējā amatā	-0,16
Gadi ar pašreizējo vadītāju	-0,16
Akciju opcijas līmenis	-0,14
Gadi uzņēmumā	-0,13
Iesaistīšanās darbā	-0,13
Apmierinātība ar vidi	-0,1
Apmierinātība ar darbu	-0,1

Sākotnējā analīze ierosina, ka vissvarīgākie faktori, kas ietekmē aiziešanu no darba, ir darba līmenis (-0.17), kopējie darba gadi (-0.17), vecums (-0.16), mēneša ienākumi (-0.16), pašreizējā amatā pavadītie gadi (-0.16) un gadi pie pašreizējā vadītāja (-0.16). Pēc datu apmācības/trenēšanas un vislabākā ML algoritma pielietošanas šie rezultāti tiek salīdzināti turpmākajās nodaļās.

4.3.2 Precizitātes rādītāji un dažādu algoritmu rezultātu salīdzinājums

Datu apstrādei un efektīvākā algoritma noteikšanai tika veikti četri soļi (attēls 4.10). Pirmkārt tika veikta datu kopas ielāde un priekšapstrāde, kuras rezultāti aprakstīti 3.2.3.1.nodaļā. Tālāk tika veikta hiperparametru optimizācija, izmantojot savstarpēju validāciju. Atšķirībā no modeļa parametriem, kurus apgūst modeļa apmācības laikā un kurus nevar iestatīt patvaļīgi, hiperparametri ir parametri, kurus var iestatīt pirms mašīnmācīšanās modeļa apmācības. Kā piemēram, Izlases mežā hiperparametri ir lēmumu pieņemšanas koku skaits mežā, maksimālais iespēju skaits, kas jāņem vērā katrā sadalījumā, vai maksimālais koka dziļums. Turpinājumā algoritmi tika pielāgoti apmācības datiem (80% no datu kopas). Apmācības komplekts tika izmantots modeļa apmācīšanai un apstiprināšanai, tas ietvēra hiperparametru iestatīšanu elastīgo tīkla modeļiem. Kā ceturtais solis tika veikta modeļa testēšana ar atlikušajiem 20% no datu kopas un noteikti efektivitātes rādītāji (tabula 4.6).



4.10. att. Datu apstrādes, apmācības un testēšanas process.

Datu apmācībai rezultāti tika salīdzināti ar piecām dažādām statistiskās modelēšanas pieejām. Piedāvātie ML algoritmi ir Loģistiskā regresija, Naivā Beisa (NB) klasifikātorators (Gaussian NB), Lēmumu koku klasifikators, K-tuvāko kaimiņu metode (KNN) un Atbalsta vektoru mašīna (SVM).

Tika analizēta un salīdzināta algoritmu darbība (tabula 4.6). Pamatojoties uz AUC rādītājiem, visaugstākie rādītāji ir Loģistikas regresijai (80,85) un Izslases mežam (80,84).

4.6. tabula

Veiktspējas salīdzinājums starp visiem šajā pētījumā izmantotajiem ML algoritmiem (Pratt et al., 2021).

Algoritms	ROC AUC Mean	ROC AUC STD	Accuracy Mean	Accuracy STD
Gaussian NB	77.84	4.16	76.42	3.63
KNN	59.94	7.39	80.67	4.16
Lēmuma koki	60.20	7.40	75.51	4.21
SVM	50.00	0.00	83.76	2.71
Loģistiskā regresija	80.85	4.79	75.42	5.11
Izslases mežs	80.84	4.70	85.12	2.70

Salīdzinot algoritmu precizitātes vidējo rādītājus, Izslases mežam (85,12), SVM (83,76) un KNN (80,67) ir visaugstākie rādītāji (tabula 4.6).

Autores pētījuma rezultāti salīdzināti ar citiem pētījumiem, kuros pielietots *Kaggle* repozitorijs ar “IBM HR Analytics Employee Attrition Performance” datu kopu (Kaggle,

2017). Rezultāti apkopoti 4.7.tabulā. Arī citu pētījumu Izlases meža algoritma precizitātes rādītāji ir augsti (tabula 4.7). Tomēr pētījumos izvēlētie labākie algoritmi ir dažādi:

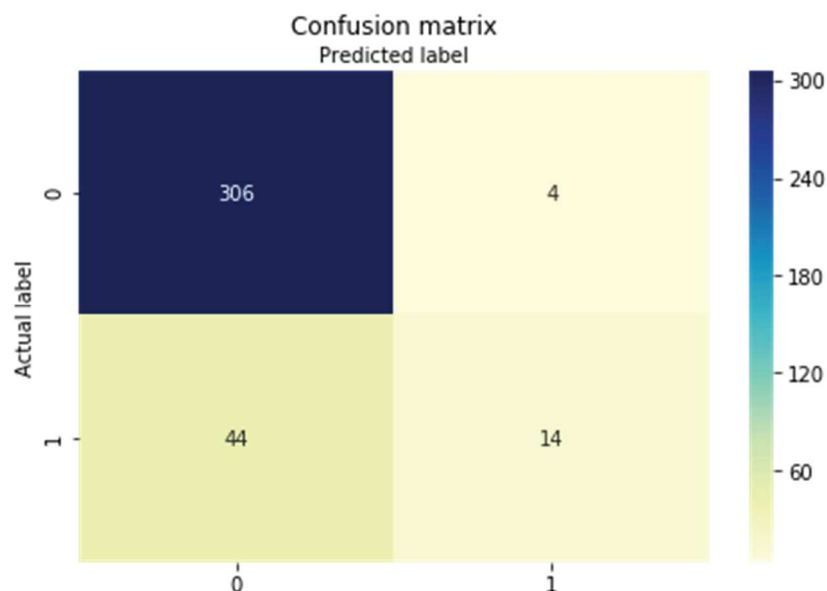
- Bhuva et al., (2018) pētījumā augstākā precizitāte tika noteikta Lineārās diskriminējošās analīzes (LDA) metodei ar vidējo precizitātes rādītāju 0.8639 (Bhuva et al., 2018).
- Yang et al., (2020) izvēlējušies Loģistiskās regresijas modeli ar vidējo precizitātes rādītāju 0.8843 (Yang et al., 2020).
- Lai arī Fallucchi et al., (2020) pētījumā visaugstākie precizitātes vidējie rādītāji ir Lineārajam SVC (0.879) un Loģistiskajai regresijai (0.875), autori izvēlas Naivā Beisa klasifikatoru (Gaussian NB) kā labāko, balstoties uz *Confusion* matricas rādītājiem (Fallucchi et al., 2020).
- Jain et al., (2018) pētījumā pētīta XGBoost modeļa darbība ar vidējās precizitātes rādītāju 0,891(Jain et al., 2018).

4.7. tabula

Dažādu autoru pētījumu algoritmu precizitātes vidējo rādītāju salīdzinājums.

	Pratt et al, (2021)	Bhuva et al., (2018)	Fallucchi et al., (2020)	Yang et al., (2020)	Jain et al., (2018)
Izlases mežs	85.12	0.8367	0.861	0.84561	
Loģistiskā regresija	75.42	0.8605	0.875	0.8843	
Lēmumu koki	75.51	0.8367	0.823		
Gaussian NB	76.42		0.825		
KNN	80.67		0.852		
Lineārā diskriminējošā analīze (LDA)		0.8639			
XGBoost					0.891

Izlases meža *Confusion* matrica (attēls 4.11) parāda prognozēto un faktisko vērtību rezultātus (Pratt et al., 2021). Patiesais pozitīvais (labais apakšējais stūris) – darbinieki (14), kuri pameta uzņēmumu un tika pareizi identificēti ar ML algoritmu. Patiesais negatīvais (augšējais kreisais stūris) – to darbinieku skaits (306), kuri nepameta uzņēmumu un kurus pareizi noteica algoritms. Viltus negatīvs (apakšējā kreisajā stūrī) ir darbinieki (44), kas pametuši uzņēmumu, lai gan algoritms paredzēja, ka viņi paliks. Un visbeidzot, viltus pozitīvais (augšējā labajā stūrī) ir darbinieki (4), kas palika uzņēmumā, bet algoritms paredzēja, ka viņi aizies.



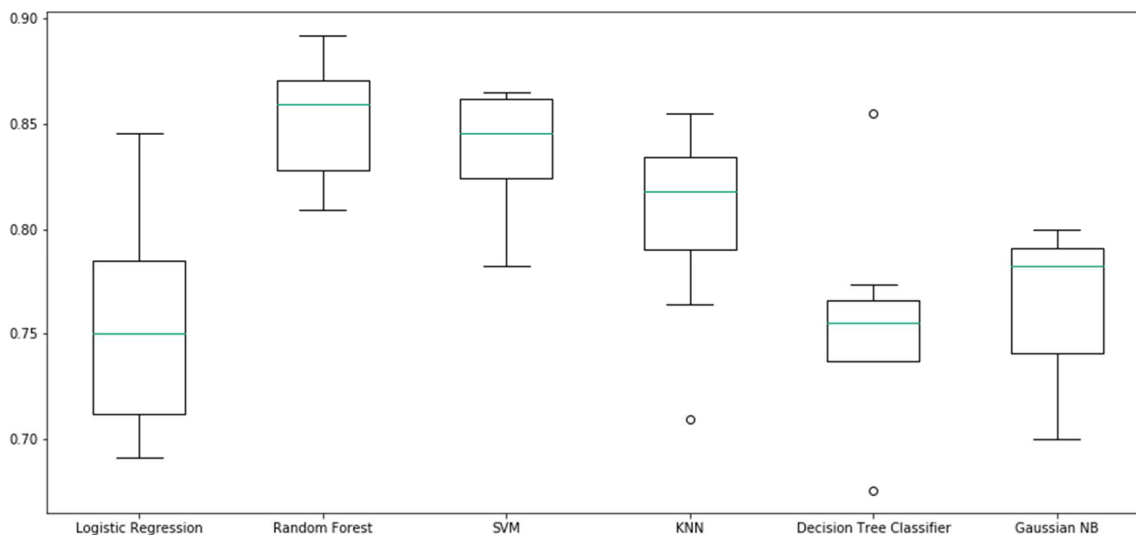
4.11. att. Izlases meža *Confusion* matrica
(Pratt et al., 2021).

Citu autoru pētījumos, izmantojot “IBM HR Analytics Employee Attrition Performance” datu kopu, *Confusion* matricas sniegusi šādus rezultātus (Kaggle, 2017):

- Bhuva et al., (2018) *Confusion* matrica Izlases meža algoritmam - patiesi negatīvais 238 un viltus negatīvais 2; viltus pozitīvais 46 un patiesi pozitīvais 8 (Bhuva et al., 2018). Viltus pozitīvais (46) šajā gadījumā ir augsts, jo algoritms paredzēja, ka šie darbinieki no uzņēmuma aizies, bet viņi uzņēmumā ir palikuši.
- Jain et al., (2018) *Confusion* matrica XGBoost modelim - patiesi negatīvais 297 un viltus negatīvais 11; viltus pozitīvais 29 un patiesi pozitīvais 30 (Jain et al., 2018). Arī šajā gadījumā 29 darbinieki, kuri palikuši uzņēmumā, kaut algoritms paredzējis, ka viņi aizies (viltus pozitīvais) ir relatīvi augsta algoritma neprecizitāte.
- Fallucchi et al., (2020) *Confusion* matricā Naivā Beisa klasifikators pareizi (patiesi pozitīvais) klasificēja 364 no 441 darbiniekiem (Fallucchi et al., 2020). Šajā pētījumā Naivā Beisa klasifikators nepareizi klasificēja (viltus pozitīvais) 4.5% darbinieku, kas nozīmē, ka 20 darbinieki pametuši uzņēmumu, kaut algoritms paredzēja, ka viņi paliks.

Var secināt, ka šī pētījuma ietvaros izstrādātā algoritma precizitāte pēc *Confusion* matricas pielietošanas ir līdzīga citos pētījumos iegūtajiem rezultātiem. Interesanti, ka šajā pētījumā izstrādātā algoritma paredzētais viltus pozitīvais (4) ir daudz mazāks kā salīdzināto pētījumu rezultāti, bet viltus negatīvais (44) ir augstāks kā salīdzinātajos pētījumos (Bhuva et al., 2018; Fallucchi et al., 2020; Jain et al., 2018).

Apstrādāto datu lodziņa (*box plot*) diagramma, kas prezentēta 4.12. attēlā, vizualizē mediānas, minimālās un maksimālās vērtības, starpkvartilu diapazonu (interquartile range) un izņēmumus (*outliers* - punkti, kas pārsniedz augšējo un apakšējo robežu). Tāpat kā 4.6. tabulā, lodziņa diagrammā (*box plot*) var redzēt redzēt, ka Izlases mežu, SVM un KNN algoritmiem ir visaugstākā mediāna un līdz ar to arī algoritmu veikspēja.



4.12. att. Algoritmu precizitātes salīdzinājums dažādiem algoritmiem

(Pratt et al., 2021).

Piedāvātais Izlases meža algoritms pareizi klasificēja 320 darbiniekus un nepatiesi 48 darbiniekus. Algoritma precizitāte ir 85,12%. Šie rezultāti atbilst iepriekšējiem pētījumu rezultātiem (algoritms ar pirmo datu kopu iepriekšējā nodaļā), kur Izlases mežs bija visefektīvākais norādītās datu kopas algoritms ar 95,24% precizitāti, sekojot Loģistiskās regresijas rezultātam 80,95% (Pratt et al., 2020). Tas ir saistīts ar Iperm (eq) izmantošanu, kas spēj aprēķināt traucējumus, kuru ietekmē ģenerējas kļūdas prognozēs. Tas palīdz izvēlēties un noraidīt modeļa nesvarīgās funkcijas.

4.3.3 Teorētiskais pamats modeļa konfigurēšanai

Turpmākajā procesā Izlases meža algoritms ir jāpielāgo uzņēmuma darbinieku datiem. Lēmumu koki un Izlases meži šobrīd ir standarta metodes uzraudzītā mašīnmācībā. Tie piedāvā daudzas priekšrocības (plaša pielietojamība, ērta lietošana, laba veikspēja utt.). Tos izmanto daudzās jomās, it īpaši uzņēmējdarbības vadībā vai prognožu / aprēķinu veikšanai (Cook et al., 2015; Iswari et al., 2019; Parchande et al., 2019; Torizuka et al., 2018). Pirms šo metožu detalizētākas izklāstīšanas tiek definēts matemātiskais ietvars, kurā šis pētījums iekļaujas (Pratt et al., 2021).

$D_n = \{(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)\}$ apmācības paraugs, t. i., n neatkarīgas mainīgo pāra (X, Y) n neatkarīgas kopijas. Pāris (X, Y) nav atkarīgs no D_n un tā likums nav zināms. Ar X un Y apzīmē izmērāmās telpas, kurās dzīvo nejausie mainīgie attiecīgi X un Y . Šeit aplūjots gadījums $X = \mathbb{R}^d$. Mainīgais lielums $X = (X_1, \dots, X_d)$ apzīmē paskaidrojošo mainīgo vektoru, bet Y ir atbildes mainīgais.

Šī pētījuma kontekstā tiek aplūkots uzraudzītas klasifikācijas gadījums, kur Y apzīmē klasi ar $Y = \{1, \dots, K\}$, $K \geq 2$ un f^* ir Bayes classifier (nezināms), definēts uz X ar

$$f^*(x) = \operatorname{argmax}_{k \in \{1, \dots, K\}} \mathbb{P}[Y = k \mid X = x].$$

Katrā kontekstā problēma ir novērtēt saikni starp vektoru X un atbildes mainīgo Y , tas ir, lai novērtētu funkciju f^* no apmācības parauga D_n datiem. f^* novērtētājs ir izmērāma funkcija $\hat{f}: (X \times (X \times Y))^n \rightarrow Y$,

kas jebkuram jaunam novērojumam x paredz atbildes Y vērtību ar $\hat{f}(x, D_n)$. Turpmāk ērtības labad atzīmēsim $\hat{f}(x)$. Funkciju \hat{f} sauc par pareģojumu likumu vai lēmuma likumu (Hastie et al., 2001).

Daudzās uzraudzītās mācīšanās problēmās skaidrojošajiem mainīgajiem var būt grupas struktūra. Mainīgo grupēšana var būt dabiska vai precīzi definēta, lai attēlotu/modelētu attiecības starp dažādiem mainīgajiem. Paskaidrojošie mainīgie var darboties grupās uz reakcijas mainīgo. Tādējādi šādas struktūras izmantošana var būt ļoti noderīga, lai izveidotu prognozēšanas likumu.

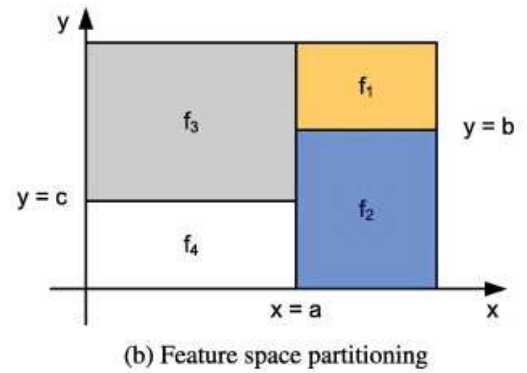
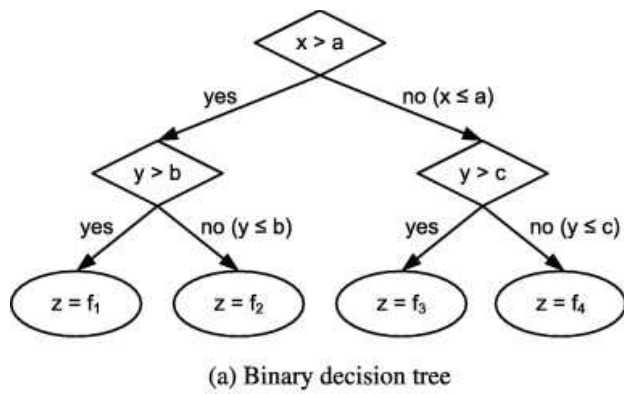
Šajā analizē interese ir par gadījums, kad vektors X ir strukturēts J zināmās grupās. Katrs pārstāv darbinieku grupu. Šajā gadījumā definē j -to grupu X_j , $j = 1, \dots, J$, izmantojot:

$$X_j = (X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jd_j}),$$

kur kopa $\{j_1, j_2, \dots, j_{d_j}\} \subseteq \{1, \dots, d\}$ apzīmē j grupai piederošo paskaidrojošo mainīgo d_j indeksus, $d_j \leq d$. Jāņem vērā, ka grupas nav vienmēr sašķeltas. Mērķis ir izmantot šo struktūru, lai izveidotu prognozēšanas kārtulu \hat{f} .

4.3.4 Uz prognozēm balstīts piedāvātais modelis

Klasifikācijas koks (*Classification Tree, CART*) ir efektīva bezparametru metode, vienkārši īstenojama un izmantojama gan regresijā, gan klasifikācijā. CART vispārējais princips ir konstruēt prognozes likumu, izmantojot rekursīvo un bināro datu telpas sadalīšanu. Iegūto nodalījumu var attēlot viegli interpretējama binārā koka veidā. 4.13. attēlā parādīta atbilstība starp divveidīgo nodalījumu un bināro koku.



4.13. att. CART koka piemērs binārā klasifikācijā. Katra lapa ir saistīta ar vislabāk pārstāvēto klasi (Pratt et al., 2021).

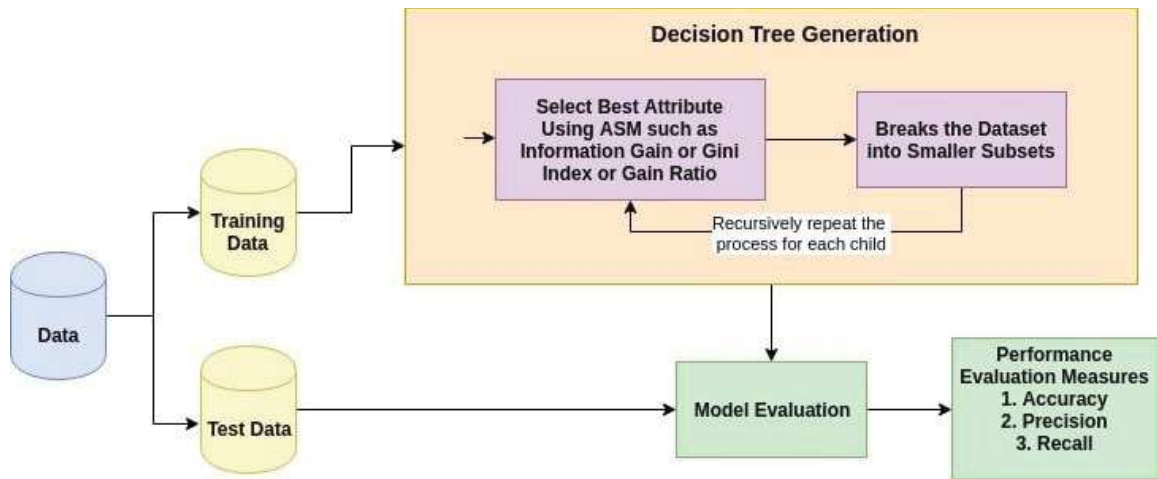
Lai izveidotu CART koku no apmācības parauga D_n datiem, algoritms darbojas divos posmos:

1. solis: maksimālā koka izstrāde. Šis solis sastāv no rekurzīvas un diadiskas X datu telpas sadalīšanas;
2. solis: gala koka atzarošana un atlase.

Bieži vien pārāk sarežģītais maksimālais koku T_{\max} nav optimāls izvēlēta veiktspējas kritērija nozīmē (piemēram, klasifikācijā, klasifikācijas kļūdā). Pārmērīga izcirtņu skaita rezultātā koks kļūst pārāk pielāgots. Lai no tā izvairītos, T_{\max} tiek apgriezts, izmantojot minimālās sarežģītības atzarošanas metodi, kuru ieviesa Breiman et. al. (Breiman et al., 1984). Šis process sastāv no apakškoku T_{\max} secības iegūšanas, līdz minimumam samazinot kritēriju, kas noteikts jebkuram T_{\max} apakškokam T , atzīmējot $T \leq T_{\max}$, un visiem $\alpha \in \mathbb{R}^+$ ar

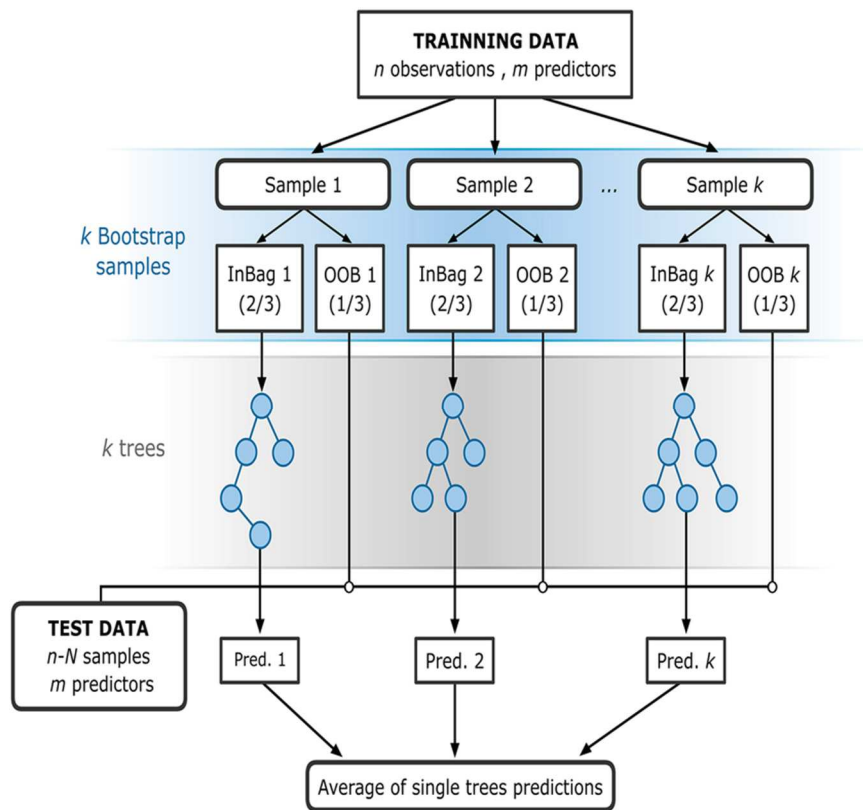
$$R_\alpha(T) = R(T, D_n) + \alpha |\tilde{T}|,$$

kur \tilde{T} apzīmē T lapu skaitu un $R(T, D_n)$ atbilst modeļa T empīriskajai kļūdai, kas noteikta pēc izlases datiem D_n (Breiman et al., 1984). CART algoritma arhitektūra ir vizualizēta nākamajā attēlā (4.14. attēls).



4.14. att. CART algoritma arhitektūra (Pratt et al., 2021).

Šī ir pieeja, kuras pamatā ir Izlases meža algoritms, kas sastāv no novērtētāju kolekcijas apkopošanas, kas izveidota no “bootstrap” paraugiem (attēls 4.15).



4.15. att. Izmantotā Izlases meža modeļa procesu apraksts (Rodriguez-Galiano et al., 2016)

Izlasses mežs ir nejaušu koku kopums. Meža veidošanas princips ir, pirmkārt, patstāvīgi ģenerēt lielu skaitu (apzīmētu n_{tree}) no “bootstrap” paraugiem $D_n^1, \dots, D_n^{n_{tree}}$, nejauši izvēloties katram no tiem novērojumus (ar vai bez aizstājējiem) apmācības izlasē D_n . Tad no “bootstrap” paraugiem $D_n^1, \dots, D_n^{n_{tree}}$ un izmantojot CART variantu, tiek veidoti n_{tree} lēmumu koki $T^1, \dots, T^{n_{tree}}$. Katrs koks šeit ir konstruēts šādi. Lai sadalītu mezglu, algoritms izvēlas nejauši un bez aizstājēju skaita m_{try} paskaidrojošo mainīgo, pēc tam tas nosaka labāko izgriezumu tikai atbilstoši izvēlētajiem m_{try} mainīgajiem. Turklāt uzbūvētais koks ir pilnībā izstrādāts un netiek apgriezts (pruned). Izlasses mežu, ko apzīmē ar $\{T_n^l\}$, beidzot iegūst, summējot šādi uzbūvētos kokus. Tas nosaka prognozēšanas likumu, kas atbilst prognozes empīriskajam vidējam līmenim regresijā un vairākuma balsojumā klasifikācijā. Breimana Izlasses mežu būvniecība ir aprakstīta 4.15.attēlā (un vēlāk attēlā 4.16).

4.3.5 Algoritma pielietošana

Piedāvātajam algoritmam ir vairāki parametri (Pratt et al., 2021):

- koku skaits mežā. Tā noklusējuma vērtība ir 500. Jāņem vērā, ka šis parametrs patiesībā nav kalibrējams parametrs tādā nozīmē, ka lielāka šī parametra vērtība vienmēr nodrošinās stabilākas prognozes nekā mazāka šī parametra vērtība;
- katra mezgla sadalīšanai izvēlēto mainīgo skaits. Tās noklusējuma vērtība klasifikācijā ir $m_{try}=pd$. Tas neapšaubāmi ir vissvarīgākais kalibrējamais parametrs, jo tas var ļoti ietekmēt meža darbību;
- minimālais mezglu novērojumu skaits, zem kura mezgls vairs netiek sadalīts. Šī parametra noklusējuma vērtība ir “node size” = 1. Parasti šis iestatījums tiek atstāts pēc noklusējuma vērtības;
- novērojumu skaits gadā katrā bootstrap paraugā. Pēc noklusējuma katrā bootstrap paraugā ir = n novērojumi, kas sākotnējā paraugā D_n izdarīti ar aizstājēju.

Iepriekšējos pētījumos autori ir interesējušies par šo parametru izvēli un ietekmi (Genuer et al., 2018; Biau et al., 2016; Biau et al., 2016; Genuer et al., 2017). Parasti parametru noklusējuma vērtības darbojas veiksmīgi. Ir maz teorētisko rezultātu par Breimana Izlasses mežiem. Tomēr var minēt galveno rezultātu, kas nesen tika izveidots un koncentrējas uz Izlasses mežu konverģenci piedevu modelī (Scornet et al., 2015). Ortiskās garantijas ir iegūtas arī vienkāršotajām metodes versijām (Wager, 2014). Galveno teorētisko rezultātu kopsavilkums ir parādīts 1. algoritmā (attēls 4.16).


```

Procedure: BuildForest( $\mathcal{D}$ ,  $E$ ,  $p$ )
Data: Training set  $\mathcal{D}$ , ensemble size  $E$ , number of queries per sub-sample  $p$ 
Result: Tree ensemble  $Trees$ 
begin
   $Trees \leftarrow \emptyset$ ;
  for  $i \in \{1, \dots, E\}$  do
     $\mathcal{D}_i \leftarrow \emptyset$ ;
    while  $|\mathcal{Q}_{\mathcal{D}_i}| < p$  do
       $q \leftarrow chooseRandom(\mathcal{Q}_{\mathcal{D}} \setminus \mathcal{Q}_{\mathcal{D}_i})$ ;
       $\mathcal{D}_i.add(\langle \mathbf{x}_{q,j}, l_{q,j} \rangle_{j=1}^{n_q})$ ;
    end
     $Trees.add(BuildTree(\mathcal{D}_i))$ ;
  end
  return  $Trees$ ;
end

```

Where the function *chooseRandom*(A) selects an item uniformly at random from the set A .

4.16. att. Algoritms 1. Izmantotais modelis, kura pamatā ir Izlases meža algoritms (Pratt et al., 2021).

4.3.6 Modeļa konfigurācija

Modelis izmanto divus posmus: apmācības posmu un klasifikācijas posmu (testēšanas posmu). 2.algoritma modelis (attēls 4.17) ilustrē 1.algoritma modeļa (attēls 4.16) atjaunināšanu/uzlabošanu, izmantojot piedāvāto pieeju.

Training Phase

Given

- X : the objects in the training data set (an $N \times n$ matrix)
- Y : the labels of the training set (an $N \times 1$ matrix)
- L : the number of classifiers in the ensemble
- K : the number of subsets
- $\{\omega_1, \dots, \omega_c\}$: the set of class labels

For $i = 1 \dots L$

- Prepare the rotation matrix R_i^a :
 - Split F (the feature set) into K subsets: $F_{i,j}$ (for $j = 1 \dots K$)
 - For $j = 1 \dots K$
 - * Let $X_{i,j}$ be the data set X for the features in $F_{i,j}$
 - * Eliminate from $X_{i,j}$ a random subset of classes
 - * Select a bootstrap sample from $X_{i,j}$ of size 75% of the number of objects in $X_{i,j}$. Denote the new set by $X'_{i,j}$
 - * Apply PCA on $X'_{i,j}$ to obtain the coefficients in a matrix $C_{i,j}$
 - Arrange the $C_{i,j}$, for $j = 1 \dots K$ in a rotation matrix R_i as in equation (1)
 - Construct R_i^a by rearranging the the columns of R_i so as to match the order of features in F .
- Build classifier D_i using $(X R_i^a, Y)$ as the training set

Classification Phase

- For a given \mathbf{x} , let $d_{i,j}(\mathbf{x} R_i^a)$ be the probability assigned by the classifier D_i to the hypothesis that \mathbf{x} comes from class ω_j . Calculate the confidence for each class, ω_j , by the average combination method:

$$\mu_j(\mathbf{x}) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L d_{i,j}(\mathbf{x} R_i^a), \quad j = 1, \dots, c.$$

- Assign \mathbf{x} to the class with the largest confidence.

4.17. att. Algoritms 2. Piedāvātā Izlases meža algoritma darbības modelis

(Pratt et al., 2021).

Šai konkrētajai datu kopai izmantotā modeļa validācijas tehnika ir datu kopas sadalīšana pēc proporcijas 80:20. 80% datu tika izmantoti apmācībai, un 20% tika paturēti vēlākai testēšanas fāzei. Pēc datu validēšanas un modeļu optimālās konfigurācijas apmācības šie modeļi tika testēti ar 20% paturētajiem datiem. Konfigurācija šī modeļa trenēšanai sastāvēja no 8GB RAM un Intel core i5-8250U CPU 1.80 GHz CPU.

Izlases meži parasti ir efektīvāki nekā vienkārši lēmumu koki (Decision trees), taču to trūkums ir sarežģītāka interpretācija. Lai to pārvarētu, tiek definēti vairāki mainīgo nozīmīguma indeksi. Šie rādītāji ļauj izveidot paskaidrojošo mainīgo hierarhiju, pamatojoties uz nozīmi attiecībā uz atbildi Y . Izlases mežu metode galvenokārt piedāvā divus kritērijus: Džini (Gini) nozīmīgumu un nozīmi pēc permutācijas.

Džini nozīmības vērtējums dod aptuveno svarīguma vērtējuma CART piedāvājumā. Šis indekss ir noteikts pēc piemaisījumu kritērija (4), ko izmanto koka būves laikā. Mainīgā nozīme vispirms tiek novērtēta katram mežā esošajam kokam. Tādējādi konkrētam kokam

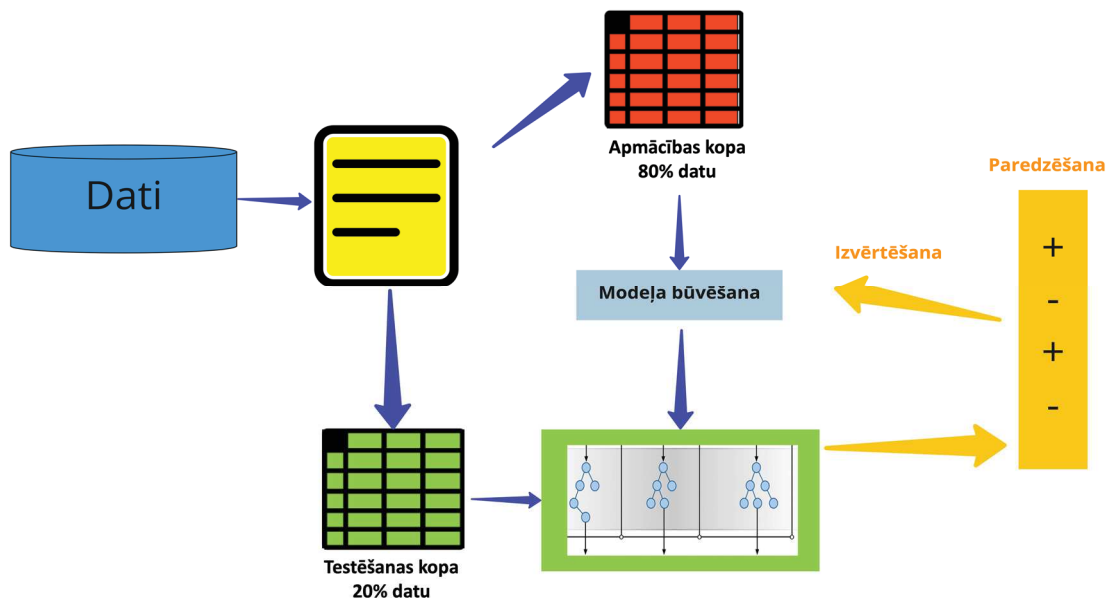
tas atbilst kopējam piemaisījumu samazinājumam, tas ir, svērtu piemaisījumu samazinājumu summai, kas radusies, kad mainīgo izmanto mezgla izciršanai no minētā koka. Pēc tam mainīgā lieluma Džini nozīmi nosaka vidējais (visiem meža kokiem) kopējais piemaisījumu samazinājums. Citiem vārdiem sakot, permutācijas nozīmības indekss ir balstīts uz ideju, ka paskaidrojošo mainīgo var uzskatīt par svarīgu, prognozējot Y reakciju, ja, pārtraucot saikni starp šo mainīgo un Y atbildi, pasliktinās prognozes kvalitāte (Breiman et al., 1984). Šajā ziņā mainīgās vērtības nejaušas permutācijas tiek izmantotas, lai imitētu šīs saites pārrāvumu. Formāli svarīguma mēra aprēķināšana ar permutāciju mainīgajam X_j (ar $j = 1, \dots, d$) vispirms sastāv no katra maisa (out-of-bag, OOB) parauga, kas saistīts ar katru “bootstrap” paraugu.

Šīs darbības tiek atkārtotas visiem meža kokiem. Tad svarīguma indekss atbilst kļūdu pieauguma vidējam rādītājam visos kokos:

$$\mathcal{I}_{\text{perm}}(X_j, \{T^b\}_1^{\text{ntree}}) = \frac{1}{\text{ntree}} \sum_{b=1}^{\text{ntree}} \mathcal{R}(T^b, \bar{D}_n^b) - \mathcal{R}(T^b, \bar{D}_n^{bj}),$$

Ja j -tā mainīgā nejaušā permutācija izraisa lielu kļūdas pieaugumu, tad $\mathcal{I}_{\text{perm}}(X_j, \{T^b\}_n^1)$ ir liels un mainīgais tiek uzskatīts par svarīgu. Un otrādi, ja traucējumi neietekmē kļūdu, tad X_j permutācijas nozīmības indekss ir tuvu nullei un mainīgais tiek uzskatīts par nesvarīgu, prognozējot atbildi Y.

Augstāk aprakstītais apmācības un testēšanas process vizualizēts 4.18.attēlā.

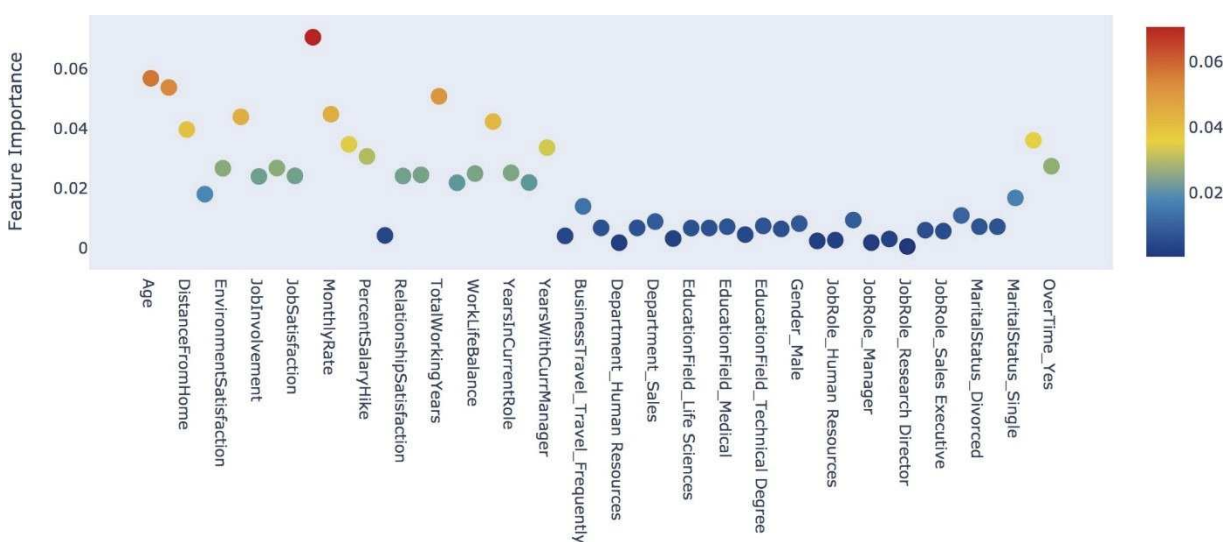


4.18. att. Algoritma izstrādes process.

Sākotnēji dati pēc priekšapstrādes procesa tika sadalīti divās daļās – algoritma apmācībai izmantoti 80% no datu kopas un apmācītā algoritma testēšanai izmantoti 20% no datu kopas. Izveidotais modelis tiek pielietots izvēlētā rādītāja paredzēšanai un šie rezultāti tiek izvērtēti un pēc vajadzības modelis tiek uzlabots. Tika noteikts, ka piedāvātais Izlases meža algoritms pareizi klasificēja 320 darbiniekus un nepatīsi 48 darbiniekus un šī algoritma precizitāte ir 85,12%.

4.3.7 Izlases meža algoritma rezultātu interpretācija

Izlases meži ir visefektīvākais datu kopas algoritms uzņēmumu darbinieku uzvedības pētīšanai, un tas ir izmantots šim ML algoritmam, lai noteiktu vissvarīgākās pazīmes, kas ir atbildīgas par kadru mainību uzņēmumā (4.19. attēls).



4.19. att. Faktoru nozīmīguma novērtējums ar Izlases meža algoritma rezultātiem (Pratt et al., 2021).

Saskaņā ar piedāvātā algoritma rezultātiem vissvarīgākās pazīmes ir: Mēneša ienākumi, Vecums, Attālums no mājām, Kopējie darba gadi un Mēneša likme (attēls 4.19). Tikai 5 no šīm 10 īpašībām tika atzītas par ļoti svarīgām Pīrsona korelācijas rezultātos (tabula 4.5). Šie kopējie faktori ir Vecums, Mēneša ienākumi, Kopējie darba gadi, Gadi uzņēmumā un Gadi ar pašreizējo vadītāju. Tas parāda ML algoritma nozīmi un efektivitāti, lai prognozētu darbinieku aiziešanu un iegūtu precīzākus rezultātus. Piedāvātā algoritma aprēķinātās vērtības ir atainotas 4.8. tabulā.

4.8. tabula

Nozīmīgākās īpašības, kuras prognozē darbinieku aiziešanu no darba, izmantojot Izlases meža algoritmu (Pratt et al., 2021).

nr.	Faktors	Korelācija ar kadru mainību
1	Mēneša ienākumi	0,070741
2	Vecums	0,056962
3	Dienas likme	0,053886
4	Kopējie darba gadi	0,050907
5	Gadi uzņēmumā	0,042443
6	Attālums no mājām	0,039759
7	Gadi ar pašreizējo vadītāju	0,033677

Nozīmīgākie koeficienti korelācijai ar kadru mainību ir Mēneša ienākumi (0,0707), Vecums (0,0569), Dienas likme (0,0538) un Kopējie darba gadi (0,05). Salīdzinot ar autores iepriekš veikto analīzi, šie rezultāti atšķiras, uzsverot algas (ienākumi, dienas/mēneša likme) un vecuma nozīmi. Šie secinājumi atbilst Yang et al., (2020) veiktās analīzes secinājumiem, ka galvenie kadru mainību ietekmējošie faktori, datu apstrādei izmantojot Izlases meža algoritmu, ir Mēneša ienākumi un Vecums (Yang et al., 2020). Fallucchi et al., (2020) pētījumā līdzīgi atklāts, ka divi spēcīgākie kadru mainības ietekmējošie faktori ir Mēneša ienākumi un Vecums, bet kā trešo faktoru autori atklāja attālumu no mājām, kas autores veiktajā pētījumā ir noteikts kā sestais spēcīgākais faktors kadru mainības paredzēšanai (Fallucchi et al., 2020). Jain et al., (2018) pētījumā, izmantojot XGBoost algoritmu, atklātie spēcīgākie kadru mainību ietekmējošie faktori ir Vecums, Dzimums un Attālums no mājām (Jain et al., 2018). Pētījumā, izmantojot Izlases meža algoritmu, Alaskar et al., (2019) kā spēcīgākos faktoros kadru mainībai noteica Apmierinātības līmeni, Gadus uzņēmumā un Nostrādāto stundu skaitu mēnesī (Alaskar et al., 2019).

Autores veiktajā Pīrsona korelācijas analīzē šie nebija faktori ar augstu korelāciju; nozīmīgākie faktori bija ar vadību saistītie un motivācija (Pratt et al., 2020).

Lielāks respondentu skaits ir palielinājis algoritma precizitāti, un plašāks iekļauto iespēju klāsts ir sniedzis lielāku ieskatu kadru mainības problēmā. Izmantojot sešu algoritmu salīdzinājumu un nozīmīgāku datu kopu, piedāvātais Izlases meža modelis ir vairākkārt pierādījis sevi kā atbilstošāko kadru mainības aprēķināšanai un citu darbinieku uzvedības faktoru analīzei un prognozēšanai.

Šajā nodaļā tika apskatīta 6 dažādu algoritmu darbība tos analizējot uz divām neatkarīgām datu kopām. Algoritma mērķis ir izvērtēt tehnoloģijas lietotāju – darbinieku motivācijas un

apmierinātības rādītājus, kā arī prognozēt iespējamo darbinieku aiziešanu no uzņēmuma. Analīzes rezultātā tiek secināts, ka augstāko precizitāti nodrošina Izlases meža algoritms ar precizitāti 85,12%. Šī datu analīze un algoritma izstrādes rezultāti ir 1.tēzes apstiprinājums. Tika apstiprināts, ka ar mašīnmācīšanās algoritma palīdzību ir iespējams noteikt, kādi faktori uzņēmuma iekšējā vidē ir problemātiski, kādas ir stiprās puses un ar augstu precizitāti prognozēt iespējamo darbinieku aiziešanu no uzņēmuma. Tālāk šis mašīnmācīšanās algoritms tiek integrēts tehnoloģiskajā efektīvas un drošas komunikācijas risinājumā *Comets*. Turpmākā pētījuma procesā izveidots algoritms un algoritma kods tiek pielāgots darbinieku aptauju analīzei, kuras rezultātā tiek ievākti dati un doti rezultāti ar augstu precizitāti par dažādiem motivāciju un apmierinātību ietekmējošajiem rezultātiem, kā arī tiek veiktas prognozes par iespējamo kadru mainību uzņēmumā. Ieviešot šo algoritmu tehnoloģiju sistēmā, kurā uzņēmums ar regularitāti mēra darbinieku atbildes, ir iespējums laicīgi reaģēt un iespējamajām problēmām, kā arī apzināties savas stiprās puses. Lai atvieglotu algoritma izmantošanas un ieviešanas iespējas, tas tiek integrēts izveidotajā efektīvas komunikācijas tehnoloģiskajā sistēmā. Dati tiek ievākti no darbiniekiem ar noteiktu regularitāti un rezultāti automātiski tiek apstrādāti uzņēmuma vadībai un ieinteresētajām personām saprotamā valodā ar iespējamo darbību, risinājumu ieteikumiem atbilstoši konkrētajai situācijai. Papildus tam, uzņēmuma vadība tiek brīdināta par iespējamajām problēmzonām un sliktākajā gadījumā par potenciālo kadru mainības pieaugumu. Ar šī algoritma palīdzību efektīvas komunikāciju sistēmas nodrošinās ne tikai labu funkcionalitāti, bet arī proaktīvas rūpes par saviem darbiniekiem, pirms tas vairs nav vadības tiešā kontrolē.

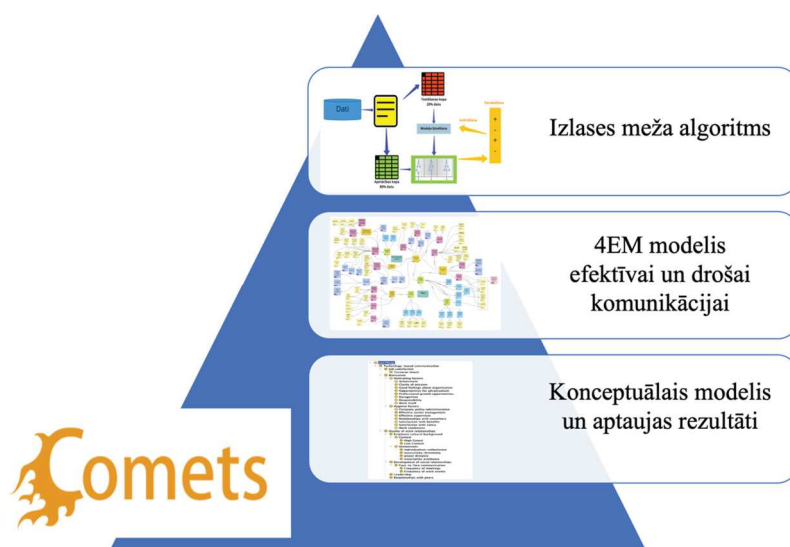
Šajās nodaļās aprakstītais Izlases meža algoritms 2021. gadā tiek validēts Latvijā bāzētā uzņēmumā ar 150 darbiniekiem. Datu ievākšana un apstrāde šāda tipa situācijai aizņem ilgāku laiku, ir vēlams rezultātus apstrādāt un ievākt periodiski, lai algoritms varētu mācīties no iepriekšējās pieredzes un sniegt precīzākus izvades datus un prognozes.

5. KOMUNIKĀCIJAS TEHNOLOĢIJAS SISTĒMA COMETS

Uz iepriekšējās nodaļās aprakstītā petījuma bāzes tika izveidota komunikācijas sistēma *Comets* (*Communication for Managerial and Employment Technology System*). Šis tehnoloģiskais rīks ir veidots ar mērķi nodrošināt uzņēmumā efektīvu un drošu komunikāciju attālināta darba apstākļos. Sistēmas lietotāji ir uzņēmuma darbinieki un vadība. Sistēmu administrē uzņēmuma/darbinieku vadītājs. Šo sistēmu, ieskaitot algoritma sadaļas, uzņēmums var lietot patstāvīgi bez ekspertu iesaistes.

Attēlā 5.1. apskatāma šī darba kopējā sinerģija:

- 1) *Comets* sistēmas izveidē tika ietverti tādi promocijas darba rezultāti kā motivācijas konceptuālais modelis un ontoloģija (skat. 1.2.1.5.nodaļā), kurus autore izstrādājusi uz zinātniskās literatūras bāzes. Šajā izstrādes posmā tika apsvērti un integrēti arī pētījuma ietvaros veiktās aptaujas analīzes rezultāti (skat. nodaļas 1.1.1. un 4.1.).
- 2) Šī sistēma veidota, vadoties pēc autore un dažādu ekspertu kopīgi radītā *4EM* modeļa projekta ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009 ietvaros (skat. 3.nodaļu). Šis modelis ticis validēts, izmantojot digitālo dvīni. Modelī ietvertie mērķi ir efektīva un droša komunikācija, risku mazināšana, kā arī motivēti un apmierināti darbinieki.
- 3) Tehnoloģiju sistēmā *Comets* tika integrēts Izlases meža algoritms, kuru autore izstrādājusi, izmantojot divas dažādas datu kopas (skat. 4.nodaļā). 4.nodaļas ietvaros ir aprakstīts algoritma izvēles, testēšanas un apmācības process. Šis algoritms ticis integrēts *Comets* sistēmā, jo ar tā palīdzību ir iespējams apstrādāt darbinieku aptaujas datus un ar augstu precizitāti aprēķināt darbinieku motivācijas un apmierinātības līmeni, kā arī paredzēt iespējamo kadru mainību.



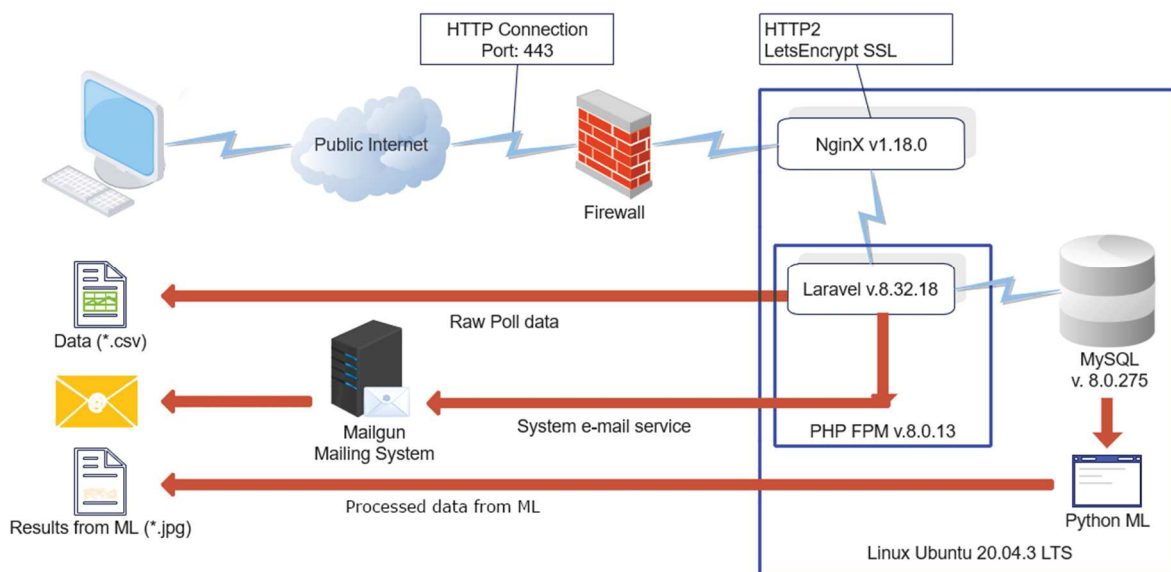
5.1.att. Pētījuma integrēšana tehnoloģijas sistēmā *Comets*.

5.1 Inženiertehniskā risinājuma apraksts

Tehnoloģiju sistēma tika programmēta ar eksperta palīdzību, ietverot šīs disertācijas un projekta ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009 funkcionalitātes vajadzības. Darba rezultātā izstrādāta sistēma, kurā, balstoties uz izpētē iegūtiem datiem par kibernetikas uzbrukumu un vektoru mijiedarbībām, ir iestrādātas aizsargfunkcijas un metodes, kuras ļauj identificēt kaitnieciskās darbības un uzbrukumus, tādējādi mazinot vai pavisam novēršot iespēju kompromitēt sistēmas darbību vai nesankcionēti piekļūt sensitīviem datiem (Melnikovs, 2021).

Lai nodrošinātu pilnīgu kontroli pār serveri un visu programmatūru, kas uz tā tiek uzstādīta, ir izvēlēts virtuāls privātais serveris (VPS). Koplietojamie tīmekļa mitināšanas pakalpojumi netika izsvērti kā opcija, jo mitināšanas pakalpojumu sniedzēji nepiedāvā pilnu piekļuvi serverim, izmantojot SSH. Izmantojot koplietojamus tīmekļa mitināšanas pakalpojumu serverus, ir mazākas konfigurācijas iespējas, piemēram, nav iespējas konfigurēt atvērto portus, servera lietotāju autentifikācijas mehānisma un ugunsdmūra iestatījumus.

Izvēlēta operacionālā sistēma "Ubuntu Linux" šajā situācijā nespēlē būtisku lomu, jo galvenā prasība ir, lai operacionālā sistēma būtu kāda no "Linux" saimes un tai būtu atvērtā koda licence (attēls 5.2.). Kā alternatīvu var izvēlēties jebkuru citu "Unix" saimes operacionālo sistēmu, piemēram, "Debian Linux" vai pat "FreeBSD". Izvēloties operacionālās sistēmas versiju, ir izvēlēta versija ar ilglaicīgu atbalstu (LTS – Long Time Support), kas nosaka, ka šādai versijai turpmākos piecus gadus no tās izlaišanas datuma būs pieejami operacionālās sistēmas atjauninājumi un ielāpi (Patch).



5.2.att. Tehnoloģiju sistēmas *Comets* tehniskā shēma.

Kā WEB servera programmatūra tika izvēlēta *Nginx*, jo tās veiktspēja ir labāka par alternatīvo *Apache* risinājumu, turklāt *Nginx* ir modernāka un drošāka. Kā tīmekļa vietnes ietvars tika izvēlēts *Laravel*, jo tā arhitektūra ir modulāra, kas ļauj ātri izstrādāt sarežģītas tīmekļvietnes. *Laravel* ir bezmaksas atvērta koda PHP tīmekļa ietvars, kas paredzēts tīmekļa lietojumprogrammu izstrādei, vadoties pēc modelis – skats – kontrolieris (MVC) arhitektūras modeļa un balstoties uz *Symfony* ietvaru un tā bibliotēkām (Laravel, 2021). Atbilstoši izvēlētajam tīmekļvietnes ietvaram tika izvēlēta MySQL datubāzu vadības sistēmas (DBVS) un PHP programmēšanas valoda, jo tīmekļa vietnes ietvars to pieprasa. Tīmekļvietnes ietvars ir balstīts MVC arhitektūrā, kura sniedz vairākas priekšrocības izstrādātājiem, piemēram, dažādas nozīmes kods tiek glabāts atsevišķi un līdz ar to kods tiek strukturizēts, kas atvieglo izstrādes un uzturēšanas procesus.

Tika veikti papildus drošības pasākumi, un tīmekļvietnei tika uzstādīts SSL drošības protokols, izmantojot atvērto bezmaksas risinājumu “Let’s Encrypt”. Ir veikta servera lietotāju autentifikācijas mehānisma konfigurācija, proti, atslēdzot servera “root” lietotāja piekļuvi, izmantojot SSH protokolu, tādējādi pasargājot serveri no minējuma uzbrukumiem (Brute-force attack). Turklāt SSH ports tika atvērts tikai no vienas konkrētas IP adreses līdz ar to vēl vairāk samazinot iespēju piekļūt serverim. SSH autentifikācija tiek nodrošināta, izmantojot autentifikāciju ar drošības sertifikātu, un piekļuve serverim, izmantojot SSH paroli, ir atslēgta.

Izlasses meža algoritms tiek apstrādāts, lietojot Python ML, un rezultāti tiek izvadīti *.jpg formātā uz lietotāja ekrāna. (Melnikovs, 2021)

5.2 Tehnoloģiju sistēmas funkcionalitāte

Comets sistēmā autore apvienojusi visas *4EM* modelī uzskaitītās efektīvas komunikācijas funkcijas – video un audio zvans (izmantojot pieslēgšanos ārējai sistēmai, piemēram, *Cisco Webex Meetings*), teksta īsziņas/tērzēšana (čats), dalīšanās ar tekstu un dalīšanās ar ekrānu (izmantojot video zvanu), rakstīts teksts (izmantojot integrētu e-pasta funkciju) un balsošanas/aptaujas funkcija (kas ir īpaši būtiska, lai izsekotu darbinieku motivācijas un apmierinātības līmeni) (attēls 5.3). Papildus šīm pamatfunkcijām sistēmā ir iekļautas dažādas atbalsta funkcijas vadītājam.



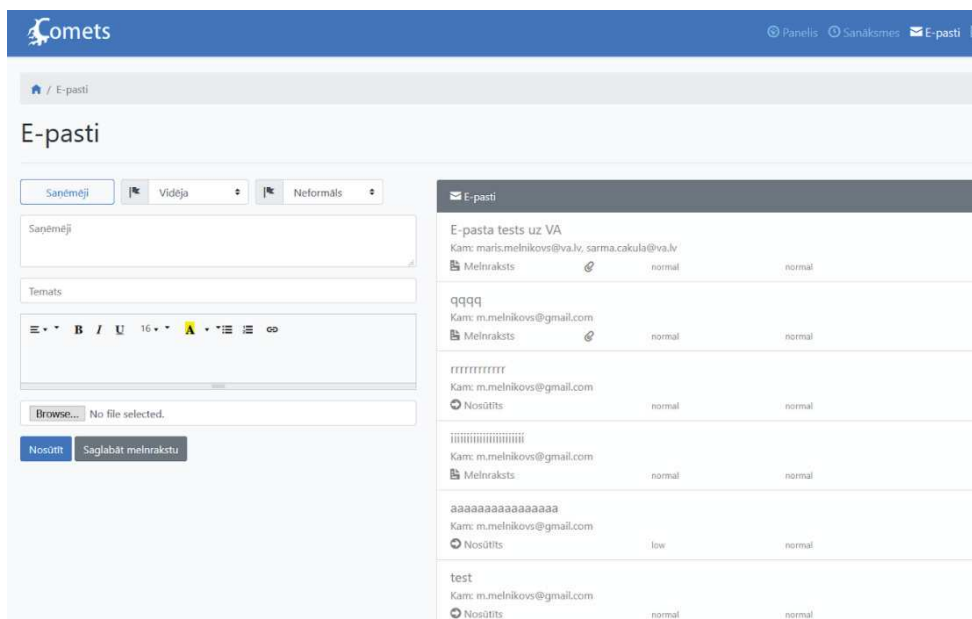
5.3. att. *Comets* sistēmas pamatfunkcijas efektīvai komunikācijai.

Sistēma apvieno trīs galvenās sadaļas: e-pasti, sanāksmes un aptaujas.

Ar e-pastu sadaļas starpniecību sistēma ļauj uzņēmuma vadītājiem izsūtīt individuālus vai kopējus e-pastus saviem darbiniekiem (attēls 5.4). E-pastu sadaļa ir papildināta ar dažādām funkcijām:

- Lai uzlabotu darbinieku vadītāju komunikācijas efektivitāti, sistēmā ir iestrādāti automātiski atgādinājumi par e-pastu regulāru izsūtīšanu, kā arī tiek dots impulss izsūtīt konkrētus e-pastus pirms un pēc sanāksmēm, nodrošinot darbinieku informētību. Šis ir īpaši nozīmīgi, lai darbinieki justos, ka viņu vadība viņus informē un tur komunikācijas lokā (atsaucoties uz *LMX* un Motivācijas teoriju, kā arī aptaujas rezultātiem).

- Papildus standarta funkcijām e-pastu un teksta rakstīšanas sadaļā sistēma ģenerē ieteikumus teksta garumam (garš, vidējs vai īss), lai nodrošinātu *4EM* modeli norādīto mērķi “Efektīvi komunicēt” un *KPI* “ziņas garuma atkarība no konteksta”. Nākotnē šo funkciju ir plānots advancēt ar mašīnmācīšanās tehnisko risinājumu palīdzību.
- Izstrādes procesā ir arī funkcija, kura nosaka, vai teksts ir formāls vai neformāls un tam seko ieteikumi formālai un neformālai komunikācijai.



5.4. att. Sistēmas e-pastu panelis.

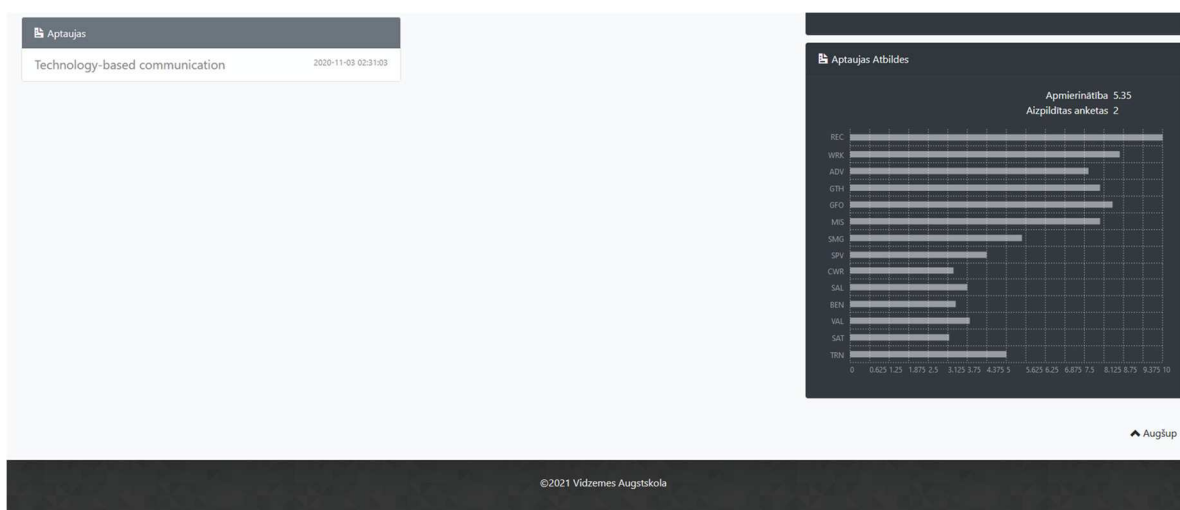
Izmantojot sanāksmju sadaļu, uzņēmuma vadītājs var organizēt un plānot sanāksmes, izsūtīt informāciju par iepļānoto tiešsaistes sanāksmi saviem darbiniekiem un pēc sanāksmes saņemt darbinieku novērtējumu par sanāksmi.

Uzņēmuma vadītājs var izveidot dažādas aptaujas, kuras aizpilda darbinieki. Ir pieejamas divu veidu aptaujas:

1. Pirmā opcija ir veidot aptaujas pēc vajadzības, pašiem izveidojot jautājumus un saņemt aptauju rezultātus gan e-pastā, gan aptauju kopsavilkumus vadības galvenajā panelī.
2. Otrā opcija jau ir iestrādāta sistēmā ar jautājumiem un aptaujas izsūtīšanas, rezultātu saņemšanas automatizēšanu. Šī ir darbinieku motivācijas, apmierinātības un kadru mainības aptauja (aptaujas jautājumi atrodami

Pielikumā 3), un algoritms automātiski apstrādā datus un dod anonīmu rezultātu kopsavilkumu darbinieku vadītājam ar gataviem skaidrojumiem (attēls 5.5).

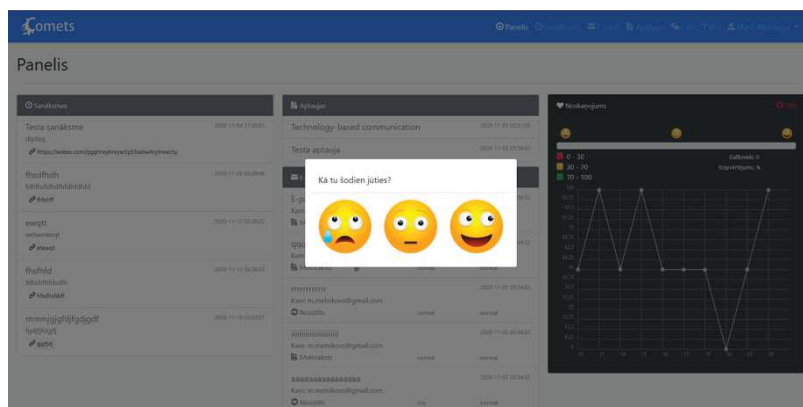
Motivācija tiek mērīta ar 59 jautājumiem, kas ņemti no Smereka et al., (2006) anketas, un tika pielāgoti šai aptaujai (Ahmed et al., 2017; Smerek et al., 2006). Anonimitāte, veicot iestrādāto motivācijas un apmierinātības aptauju, ir īpaši svarīga, lai atbildes būtu patiesas. Sistēma ir izstrādāta tā, ka vadītājs nevar zināt, kuri no darbiniekiem ir atbildīgi par attiecīgo atbilžu sniegšanu. Vadītājs saņem tikai jau apstrādātus datus savā vadības panelī (attēls 5.5.) un e-pastā.



5.5. attēls. Aptaujas izvades ekrāns.

Aptaujas rezultātu izvades dati tiek apstrādāti ar autores izstrādātu ML algoritma palīdzību. Izvēlētais Izlases meža algoritms aprakstīts 4.nodaļas ietvaros. Šī algoritma rezultātu augstā precizitāte dod iespēju vadītājam uzzināt par būtiskākajiem faktoriem, kuri ietekmē darbinieku motivāciju un apmierinātību, un laicīgi novērst potenciālās problēmas. Kad ir pienācis iestatījumos ievadītais laiks aptaujai, vadītājs saņem paziņojumu savā e-pastā un uz vadības paneļa. Ilgākā laika periodā dati tiek uzkrāti, tādējādi veicinot algoritma mācīšanos, kā arī dodot vadītājam iespēju salīdzināt esošos datus ar vēstures datiem. Attālināta darba apstākļos šis ir īpaši nozīmīgi, lai vadība vienmēr būtu informēta par savu darbinieku sajūtām.

Papildus izstrādāta sadaļa darbinieku ikdienas noskaņojuma mērīšanai. Šis rīks ievāc darbinieku noskaņojuma rādītāju katras darba dienas pirmās sesijas sākumā (attēls 5.6).



5.6.att. Darbinieku ikdienas noskaņojuma mērīšana.

Darba vadītājs savā panelī var redzēt katra darbinieka noskaņojumu un savu darbinieku kopējo vidējo noskaņojumu. Papildus tam ir grafiks ar vēsturisko datu apkopojumu, kurā darbinieku kopējā noskaņojuma vidējais rādītājs salīdzināts ar šo rādītāju ilgākā laika posmā. Sistēmā ir iestrādāti ieteikumi un skaidrojumi, vadītājam saskaroties ar dažādiem rādītājiem.

5.3 Sistēmas drošības aspekti

Sistēmas *Comets* drošības aspekti aprakstīti Maģistra darbā “Perspektīvas Tehnoloģijas Noturīgiem un Drošiem Servisiem” (Melnikovs, 2021). Maģistra darbā ir iespēja iepazīties ar sistēmas izstrādē izmantotajām tehnoloģijām, sistēmas drošības aspektiem, veiktajām drošības pārbaudēm, izmantojot verifikācijas metodi un kiberdrošības ekspertu veikto sistēmas validāciju. Balstoties uz izpētē iegūtiem datiem par kiberdrošības uzbrukumu un vektoru mijiedarbībām, ir iestrādātas aizsargfunkcijas un metodes, kuras ļauj identificēt kaitnieciskās darbības un uzbrukumus, tādejādi mazinot vai pavisam novēršot iespēju kompromitēt sistēmas darbību vai nesankcionēti piekļūt sensitīviem datiem (Melnikovs, 2021).

Izstrādājot *Comets* sistēmu tika pievērsta liela vērība šiem drošības faktoriem:

- SSL/HTTPS & HTTP2
- CSRF – Cross-Site Request Forgery Attack
- XSS – Cross Site Scripting
- SQL Injekcijas
- Drošas sesijas un autentifikācija
- Drošas platformas izvēle
- Jaunākā servera programmatūra
- Slēpti servera programmatūras versiju hederi

- Drošas paroles un SHA256 kriptēšana
- DDoS, bruteforce un spam aizsardzība
- u.c.

Drošības testa rezultāti redzami attēlā 5.7. Šīs sistēmas drošība tiek vērtēta kā ļoti augsta.

The screenshot shows the Observatory web application interface. At the top, there are navigation links for Home, FAQ, Statistics, and About. Below that, there are tabs for HTTP Observatory, TLS Observatory, SSH Observatory, and Third-party Tests. The main content area is divided into two sections: Scan Summary and Recommendation. The Scan Summary section displays a large green 'A+' grade, along with details: Host: devpage.lv, Scan ID #: 16749521 (unlisted), Start Time: December 9, 2020 1:00 AM, Duration: 5 seconds, Score: 120/100, and Tests Passed: 11/11. The Recommendation section features a green header and a message: 'We don't have any!' followed by a congratulatory note about the website's security standards. Below these sections is a 'Test Scores' table with columns for Test, Pass, Score, Reason, and Info.

Test	Pass	Score	Reason	Info
Content Security Policy	✓	+5	Content Security Policy (CSP) implemented without 'unsafe-inline' or 'unsafe-eval'	ⓘ
Cookies	✓	+5	All cookies use the Secure flag, session cookies use the HttpOnly flag, and cross-origin restrictions are in place via the SameSite flag	ⓘ
Cross-origin Resource Sharing	✓	0	Content is not visible via cross-origin resource sharing (CORS) files or headers	ⓘ
HTTP Public Key Pinning	–	0	HTTP Public Key Pinning (HPKP) header not implemented (optional)	ⓘ
HTTP Strict Transport Security	✓	0	HTTP Strict Transport Security (HSTS) header set to a minimum of six months (15768000)	ⓘ
Redirection	✓	0	Initial redirection is to HTTPS on same host, final destination is HTTPS	ⓘ

5.7. attēls. Sistēmas drošības izvērtējums.

Ar komunikācijas rīka detalizētu aprakstu iespējams iepazīties 4.pielikumā. Sistēma *Comets* ir publicēta un pieejama brīvpiekluvē izstrādes lapā Devpage.lv un GIT repozitorijā tā ir pieejama publiski <https://github.com/nlc0d3r/comets>.

Sistēma ir tikusi veidota un apstiprināta ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009 projekta ietvaros. Sistēmas funkcionalitāti ir notestējuši uzņēmuma darbinieki Latvijā strādājošā uzņēmumā ar 250 darbiniekiem, un aptauju algoritma sadaļa turpinās testēšanas stadijā šajā uzņēmumā kopš 2021.gada. Sistēmu nākotnē plānots uzlabot un iegūtos rezultātus izmantot funkciju uzlabošanai. Ir nepieciešamība pēc jaunu algoritmu un tehnoloģisko risinājumu izstrādes, lai veicinātu arvien lielāku vadītāju efektivitāti, strādājot un komunicējot attālināti.

SECINĀJUMI

Promocijas darba mērķis bija izstrādāt tehnoloģisku risinājumu efektīvai darba komunikācijai darba vidē, ietverot lietotāju motivāciju un apmierinātību.

Uzstādītie uzdevumi ir izpildīti:

1. tīcis izstrādāts efektīvas uzņēmuma iekšējās komunikācijas teorētiskais modelis, iekļaujot ietekmējošos faktorus. Šo faktoru ietekme uz komunikācijas kvalitāti, motivāciju, apmierinātību un kadru mainību ir izpētīta no teorētiskā viedokļa,
2. esošie komunikācijas tehnoloģiskie risinājumi un mašīnmācīšanās algoritmu pielietojums uzņēmumu iekšējās darba vides pētīšanā ir apskatīti un pieejamās tehnoloģijas un to pielietojuma iespējas ir aprakstītas,
3. ir izveidots drošas attālinātās darba vietas modelis, izmantojot *4EM* metodi. Modelī iekļauti faktori efektīvai un drošai komunikācijai darbam attālināti un šis modelis digitalizēts, izmantojot digitālo dvīni,
4. iegūti un analizēti empīriskie dati. Dati izmantoti konceptuālā modeļa testēšanai un mašīnmācīšanās algoritmu izstrādei. Uz šo datu bāzes testēti dažādi algoritmi un izvēlēts Izlases meža algoritms,
5. tīcis izstrādāts vājo komunikācijas mezglu noteikšanas mašīnmācīšanās algoritma modelis, kura darbība trenēta un testēta uz divām dažādām datu kopām,
6. izstrādāts tehnoloģiskais risinājums – programmatūras sistēma – darbinieku iekšējai komunikācijai ar mērķi uzlabot komunikācijas efektivitāti un darbinieku motivāciju, apmierinātību, tādējādi mazinot vēlmi aiziet no uzņēmuma,
7. izstrādātais tehnoloģiskais modelis efektīvai komunikācijai darba vietā tīcis izmēģināts uzņēmumā. Savukārt algoritma darbība tiek testēta un testēšana turpināsies ilgākā laika periodā.

Darba teorētiskā vērtība – ir izstrādāts un aprobēts konceptuālais modelis efektīvai un drošai komunikāciju sistēmai, kurā ir iekļauti tehnoloģiskie aspekti un attālinātais darbs.

Darba zinātniskais jaunievedums – ar *4EM* modeli var modelēt IKT apvienojumā ar darba vidi. Šī modeļa struktūra dod plašāku ieskatu par komunikāciju sistēmās esošajiem ietekmes faktoriem un to mijiedarbību, ņemot vērā darba vidi un apstākļus, kuri rodas, strādājot attālināti. Izstrādātais mašīnmācīšanās algoritms var palīdzēt dot noderīgus un augstas precizitātes rādītājus pētījumos par darbinieku apmierinātību.

Pētījumā izvirzītās tēzes tikušas apstiprinātas, izmantojot sekojošās metodes:

1. tēzei - mašīnmācīšanās algoritma modelēšana un trenēšana uzņēmuma darbinieku motivācijas un kadru mainības novērtēšanai, kā arī prognozēšanai. Algoritma rezultātu izvērtēšana.
2. tēzei - *4EM* modelēšana efektīvas un drošas komunikāciju sistēmas modeļa izveidei, pielietojot *ARTSS* metodiku. Modelis ticis validēts, izmantojot digitālo dvīni.
3. tēzei - literatūras analīze esošo teorētisko un tehnoloģisko iespēju apzināšanai un konceptuālā modeļa izstrādei. Empīrisku datu analīze, ieguve un apstrāde iekšējās darba vides un darbinieku uzvedības likumsakarību izpētei.

Darba/pētījuma praktiskā nozīme

1. Izstrādātais *4EM* modelis ir praktiski pielietojams tehnoloģiju izstrādātājiem un uzņēmumu vadītājiem, tas dod iespēju izvērtēt savu tehnoloģiju efektivitāti un drošību no daudz dažādiem aspektiem.
2. Izstrādāto algoritma modeli ir iespējams izmantot dažādās organizācijās, lai mērītu savu darbinieku motivāciju un apmierinātību, ar augstu precizitāti paredzētu darbinieku iespējamo aiziešanu no darba un to attiecīgi novērstu. Šī ir efektīva metode. Mašīnmācīšanās algoritms mācās no uzņēmuma pagātnes datiem, tādējādi uzkrājot informāciju un paaugstinot savu prognožu precizitāti.
3. Tehnoloģiskais modelis ir papildinājums sociālās zinātnes iztrūkstošajai daļai par mūsdienu komunikāciju, izmantojot tehnoloģijas, un tam, kā šie modelī aprakstītie faktori ietekmē uzņēmumu darbiniekus. Līdz šim tehnoloģijas ietekmes faktors netika ņemts vērā, un tas ir ticis atzīts par nopietnu iztrūkumu motivācijas teoriju pētījumos.
4. Jauno teorētisko modeli var izmantot tehnoloģiju izstrādātāji, lai izprastu, kādi faktori tiek ietekmēti komunikācijā, kura notiek caur tehnoloģijas rīkiem.
5. Izstrādātā tehnoloģijas sistēma iekļauj *4EM* modelī noteiktos faktoros un ir unikāla ar to, ka nodrošina efektīvu un drošu komunikāciju arī attālinātā darba apstākļos. Šī sistēma ir kā atbalsts uzņēmumu vadītājiem un ir piemērs tam, kā promocijas darbā aprakstītie faktori var tik integrēti tehnoloģijā, lai uzlabotu uzņēmuma darbību.

Risinājums un rezultāti

Papildinot iztrūkstošo sadaļu zinātniskajā literatūrā par tehnoloģisko komunikācijas rīku ietekmi uz motivāciju un apmierinātību, autore ir izveidojusi un validējusi konceptuālo

modeļi, iekļaujot galvenos ietekmējošos faktoros. Izmantojot šī modeļa struktūru, autore izveidojusi darbinieku aptauju un iegūtos datus apstrādājusi šī modeļa izvērtēšanai.

Lai šīs zināšanas pārnestu sociotehniskā vidē, ticis izstrādāts *4EM* modelis, kurā iekļauti efektīvas un drošas komunikāciju sistēmas faktori attālināta darba apstākļos. Šis modelis digitalizēts, izmantojot digitālo dvīni. *4EM* modelis ticis apstiprināts ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009 projekta ietvaros. Lai pēc iespējas veiksmīgāk tehnoloģijā iekļautu motivācijas un apmierinātības analīzes funkciju, izvēlēts to darīt, izmantojot mašīnmācīšanās algoritmu. Pēc dažādu algoritmu darbības rezultātu salīdzināšanas tika izvēlēts Izlases mežu algoritms un tā funkcionālā darbība un darbības rezultāti tika validēti. Uz šī pētījuma bāzes izveidota komunikāciju tehnoloģijas sistēma, kura tiek testēta un papildināta, mācoties no iegūtajiem datiem.

Secinājumi:

1. Zinātniskajā literatūrā ir izteikta vajadzība pēc jauniem konceptuālajiem modeļiem, kuri ietvertu un ņemtu vērā jauno darba vidi, kurā tiek izmantotas tehnoloģijas darba komunikācijā.
2. Sākotnējais pieņēmums, ka, jo vairāk darba komunikācijā tiek izmantotas tehnoloģijas, jo zemāks ir darbinieku motivācijas un apmierinātības līmenis, pētījuma gaitā un datu izpētes rezultātā ticis noraidīts. Izmantojot tehnoloģiskos rīkus komunikācijā, to ietekme ir izrādījusies atkarīga no vadības spējas šos rīkus efektīvi izmantot.
3. Pandēmija 2020. gadā un piespiedu distancēšanās apstākļi, kuru rezultātā attālinātais darbs kļuvis par darbinieku ikdienas sastāvdaļu, aktualizē pētījuma jautājuma nozīmīgumu un vajadzību pēc risinājumiem darbinieku noskaņojuma mērīšanai/moderēšanai. Komunikācijas rīku pieejamība, praktiskums un efektivitāte tagad ir gandrīz katra uzņēmuma ikdienas prioritātes.
4. Esošie komunikāciju rīki piedāvā plaša veida funkcionalitāti, un to klāsts ir liels, bet nav tādas sistēmas, kurā būtu ieļauta gan nepieciešamā rīka funkcionalitāte, gan darbinieku motivācijas, apmierinātības mērīšana, gan vadības komunikācijas efektivitātes atbalsts.
5. Lai īstenotu vadības zinātnes un sociālās zinātnes kā sociālo sistēmu savienošānu ar tehnoloģiju inženieriju tehniskajā sistēmā, var tikt izmantotas sociotehnisku inženierijas sistēmu metodes. *EM* un *4EM* metodes ir piemērotas ar darbinieku vadību saistīto jautājumu risināšanā un ieviešanā tehnoloģijās.

6. Efektīvas un drošas komunikācijas *4EM* modelī noteikts, ka šādam komunikāciju rīkam jānodrošina četras spējas – komunikācijas elastība, efektīva un droša darbinieku iekšējā komunikācija, informācijas drošības un pieejamības pārvaldība un draudu vadība.
7. Viens no būtiskajiem faktoriem ir darbinieku motivācijas un apmierinātības līmenis, ko iespējams paaugstināt, īstenojot *4EM* modeļa principus efektīvai un drošai komunikācijai attālinātā darba apstākļos, regulāri mērot šī līmeņa izmaiņas un analizējot šo izmaiņu iemeslus.
8. Lai komunikāciju sistēmā iestrādātu motivācijas un apmierinātības datu apstrādes funkciju, ir iespējams izmantot mašīnmācīšanās algoritmus.
9. Pētījumā tika noteikts, ka vispiemērotākais mašīnmācīšanās algoritms darbinieku motivācijas un apmierinātības datu apstrādei ir Izlases mežu algoritms. Ar šī algoritma palīdzību ar 85,12% precizitāti iespējams noteikt, vai darbinieki ir riska zonā, lai aizietu no darba vietas, un kādi faktori ir atbildīgi par šī lēmuma potenciālo pieņemšanu.
10. Izstrādātā *4EM* modeļa principi, ieskaitot motivācijas un apmierinātības mērīšanu ar Izlases meža algoritma palīdzību, īstenoti tehnoloģiskajā sistēmā, kas iekļauj gan nepieciešamo funkcionalitāti, gan vadītājam nepieciešamo atbalstu darbinieku motivācijas un apmierinātības nodrošināšanai. Papildus tam ir izstrādātas vadlīnijas darbam piespiedu attālinātā darba apstākļos drošai un efektīvai komunikācijai.
11. Tehnoloģiskās sistēmas lietošana ir paredzēta dažādu nozaru un dažādu izmēru uzņēmumiem, jo būtiskie komunikācijas principi ir nemainīgi.
12. Pastāvīgi (regulāri) lietojot izveidoto sistēmu un ļaujot algoritmam mācīties, iespējams laicīgi būt informētiem par uzņēmuma darbinieku stāvokli un iespējamajiem draudiem, tādējādi novēršot darbinieku vēlmi pamest uzņēmumu situācijās, kuras ietekmē komunikācijas efektivitāte.

NOBEIGUMS

Ticis īstenots darba mērķis – izstrādāts tehnoloģisks risinājums efektīvai darba komunikācijai darba vidē, ietverot lietotāju motivāciju un apmierinātību. Izveidotais modelis reprezentē drošu un efektīvu komunikāciju darba vietā, kurā iekļauti faktori efektīvai un drošai komunikācijai darbam attālināti, kā arī radīta šādas komunikācijas tehnoloģiska sistēma. Šādu sistēmu ir iespējams lietot dažādu tipu uzņēmumu iekšējās komunikācijas uzlabošanai. Uzņēmuma izmēram un specifikai nav nepieciešami pielāgojumi, toties var ņemt vērā, ka uzņēmumos, kuros ir vairāk darbinieku (sistēmas lietotāju), mašīnmācīšanās algoritmam būs lielāks datu apjoms, no kā mācīties, tādējādi būs augstāka efektivitāte prognožu veikšanai.

Šī pētījuma nozīmība un aktualitāte pieaug ar katru dienu. Šāda tipa komunikāciju risinājumi ir pieprasīti, bet sistēmu veidotāji tos rada bez zinātniska pamatojuma un padziļinātām zināšanām par darbinieku uzvedību. Šis pētījums būs nozīmīgs papildinājums zinātniskajai literatūrai, jo sniedz dažādu nozaru pārstāvjiem apkopotu risinājumu kopu, kas balstīta uz zinātniskās literatūras pētījumiem un datu analīzi.

Pētījumu plānots turpināt nākotnē, paplašinot tehnoloģiskās sistēmas iespējas vadītāju atbalstam, komunicējot attālināti. Autore ir ieinteresēta izpētīt *Deep learning* sniegtās iespējas, īpaši nestrukturizētu dokumentu un tekstu apstrādē. Lai uzlabotu uzņēmumu vadītāju komunikācijas efektivitāti, ir nepieciešams izstrādāt risinājumu komunikācijas kontekstam. Tam plānots ieviest digitālus intelektuālos aģentus, kas analizē tehnoloģiju lietotāja rakstīšanas stilu un piedāvā potenciālos tekstus (piemēram, e-pastu sadaļā). Šis risinājums jau ir daļējā izstrādes procesā, un būtu nepieciešams izmantot *NLP (Natural Language Processing)* tehnikas, lai tekstu analīze būtu balstīta uz pagātnes datiem un likumsakarībām.

LITERATŪRA

- Ahmed, S., Taskin, N., Pauleen, D. J., & Parker, J. (2017). Motivating Information Technology Professionals: The case of New Zealand. *Australasian Journal of Information Systems*, 21(0). <https://doi.org/10.3127/ajis.v21i0.1421>
- Aizstrauta, D. (2018). *Integrētais tehnoloģiju pieņemšanas un ilgspējas novērtēšanas modelis*. Vidzemes Augstskola, Valmiera.
- Alao, D., & Adeyemo, A. B. (2013). Analyzing employee attrition using decision tree algorithms. *Computing, Information Systems, Development Informatics and Allied Research Journal*, 4(1), 17–28. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1012.2947&rep=rep1&type=pdf>
- Alaskar, L., Crane, M., & Alduailij, M. (2019). Employee Turnover Prediction Using Machine Learning. *Communications in Computer and Information Science*, 1097 CCIS, 301–316. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36365-9_25
- ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009. (2020). 2. Valsts pētījumu programmas "Covid-19 seku mazināšanai" Nr. VPP-COVID-2020/1-0009 "Perspektīvās tehnoloģijas noturīgiem un drošiem servisiem". ARTSS – Advanced Resilience Technologies for Secure Service. 07.09.2020-20.12.2020.
- Azevedo, C. L. B., Almeida, J. P. A., van Sinderen, M., Quartel, D., & Guizzardi, G. (2011). An ontology-based semantics for the motivation extension to archimate. *2011 IEEE 15th International Enterprise Distributed Object Computing Conference*, 25–34. IEEE.
- Babulak, E. (2009). Teleworking and next generation cyberspace. *2009 International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation*, 142–146. IEEE.
- Baheti, R., & Gill, H. (2011). Cyber-physical systems. *The Impact of Control Technology*, 12(1), 161–166.
- Banks, J. (2005). *Discrete event system simulation*. Pearson Education India.
- Barley, S. R., Dutton, W. H., Kiesler, S., Resnick, P., Kraut, R. E., & Yates, J. (2004). Does CSCW need organization theory? *Proceedings of the 2004 ACM*

- Conference on Computer Supported Cooperative Work - CSCW '04*, 122.
<https://doi.org/10.1145/1031607.1031628>
- Barrier, T. (Ed.). (2002). “*Human computer interaction development & management*,”. Retrieved from <http://www.irm-press.com>
- Bavelas, A. (1950). Communication patterns in task-oriented groups. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6), 725–730.
- Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4–17.
- Bhatia, K., & Balani, M. (2015). Effective Internal Communication : a Crucial Factor. *Proceedings of International Conference on Management, Economics and Social Sciences*, 135–142.
- Bhuva, K., & Srivastava, K. (2018). Comparative Study of the Machine Learning Techniques for Predicting the Employee Attrition. *IJRAR-International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 5(3), 568–577.
- Biau, G., & Scornet, E. (2016). A random forest guided tour. *Test*, 25(2), 197–227.
- Bolton, A., Butler, L., Dabson, I., Enzer, M., Evans, M., Fenemore, T., ... Luck, A. (2018). *Gemini Principles*.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., & Olshen, R. A. (1984). *Classification and regression trees*. CRC press.
- Brooks, C. (2020). Best Video Conference Service for Integration - [businessnewsdaily.com](https://www.businessnewsdaily.com/9559-best-inexpensive-video-conference-service.html). Retrieved 26 February 2021, from <https://www.businessnewsdaily.com/9559-best-inexpensive-video-conference-service.html>
- Brynjolfsson, E., & Andrew, M. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. Retrieved from [https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=WiKwAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Brynjolfsson+E.,+%26+McAfee+A.+\(2014\).+The+Second+Machine+Age:+Work,+Progress,+and+Prosperity+in+a+Time+of+Brilliant+Technologies.+New+York,+Norton.&ots=4_XqWjZy9e&sig=O5wZ2k_qGss1Y](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=WiKwAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Brynjolfsson+E.,+%26+McAfee+A.+(2014).+The+Second+Machine+Age:+Work,+Progress,+and+Prosperity+in+a+Time+of+Brilliant+Technologies.+New+York,+Norton.&ots=4_XqWjZy9e&sig=O5wZ2k_qGss1Y)
- Bubenko, J. (1992). *On the Evolution of Information Systems Modelling: A Scandinavian Perspective*. DSV.

- Bubenko, J. A., Persson, A., & Stirna, J. (2001). User guide of the knowledge management approach using enterprise knowledge patterns. *Stockholm (Sweden), Department of Computer and Systems Science, Royal Institute of Technology*.
- Burgoon, J. K., Guerrero, L. K., and Manusov, V. (2011). Nonverbal signals. *The SAGE Handbook of Interpersonal Communication*, 26, 239–280. Retrieved from [https://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=MWZECQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT358&dq=%3B+kinesics+\(facial+expressions,+gestures%3B+body+movement\)%3B+proxemics+\(perception+and+use+of+space\)%3B+chronemics+\(perception+and+use+of+time\).&ots=wQSeIsYGxb&sig=XCsvNxPdnN8A0ns0](https://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=MWZECQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT358&dq=%3B+kinesics+(facial+expressions,+gestures%3B+body+movement)%3B+proxemics+(perception+and+use+of+space)%3B+chronemics+(perception+and+use+of+time).&ots=wQSeIsYGxb&sig=XCsvNxPdnN8A0ns0)
- Cardon, P. W., & Marshall, B. (2015). The hype and reality of social media use for work collaboration and team communication. *International Journal of Business Communication*, 52(3), 273–293. <https://doi.org/10.1177/2329488414525446>
- Chanda, U., & Goyal, P. (2020). A Bayesian network model on the interlinkage between Socially Responsible HRM, employee satisfaction, employee commitment and organizational performance. *Journal of Management Analytics*, 7(1), 105–138. <https://doi.org/10.1080/23270012.2019.1650670>
- Cherns, A. (1987). Principles of sociotechnical design revisited. *Human Relations*, 40(3), 153–161.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Retrieved from [https://www.google.com/search?q=Cohen,+J.+\(1988\).+“Statistical+power+analysis+for+the+behavioral+sciences,”+\(2nd+ed.\).+Hillsdale,+NJ:+Lawrence+Er+lbaum+Associates.&source=univ&tbm=shop&tbo=u&sa=X&ved=0ahUKEwjo nP7mnaPiAhUF7J4KHQQwBfEQsXgIMA&biw=1082&bih=642](https://www.google.com/search?q=Cohen,+J.+(1988).+“Statistical+power+analysis+for+the+behavioral+sciences,”+(2nd+ed.).+Hillsdale,+NJ:+Lawrence+Er+lbaum+Associates.&source=univ&tbm=shop&tbo=u&sa=X&ved=0ahUKEwjo nP7mnaPiAhUF7J4KHQQwBfEQsXgIMA&biw=1082&bih=642)
- Cook, A., Wu, P., & Mengersen, K. (2015). Machine learning and visual analytics for consulting business decision support. *2015 Big Data Visual Analytics (BDVA)*, 1–2. IEEE.
- Coomber, B., & Louise Barriball, K. (2007). Impact of job satisfaction components on intent to leave and turnover for hospital-based nurses: A review of the

- research literature. *International Journal of Nursing Studies*, 44(2), 297–314.
<https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2006.02.004>
- Cowie, R., Douglas-Cowie, E., Tsapatsoulis, N., Votsis, G., Kollias, S., Fellenz, W., & Taylor, J. G. (2001). Emotion recognition in human-computer interaction. *Signal Processing Magazine, IEEE*, 18(1), 32–80.
<https://doi.org/10.1109/79.911197>
- Daft, R. L., & Lengel, R. H. (1986). Organizational information requirements, media richness and structural design. *Management Science*, 32(5), 554–571.
- De Wet, W., Koekemoer, E., & Nel, J. A. (2016). Exploring the impact of information and communication technology on employees' work and personal lives. *SA Journal of Industrial Psychology*, 42(1), 1–11.
<https://doi.org/10.4102/sajip.v42i1.1330>
- Dittes, S., Richter, S., Richter, A., & Smolnik, S. (2019). Toward the workplace of the future: How organizations can facilitate digital work. *Business Horizons*, 62(5), 649–661.
- Driskell, J. E., Radtke, P. H., & Salas, E. (2003). Virtual Teams: Effects of Technological Mediation on Team Performance. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 7(4), 297–323. <https://doi.org/10.1037/1089-2699.7.4.297>
- Dubé, L., & Robey, D. (2009). Surviving the paradoxes of virtual teamwork. *Information Systems Journal*, 19(1), 3–30.
- Dulebohn, J. H., Bommer, W. H., Liden, R. C., Brouer, R. L., & Ferris, G. R. (2012). A Meta-Analysis of Antecedents and Consequences of Leader-Member Exchange. *Journal of Management*, 38(6), 1715–1759.
<https://doi.org/10.1177/0149206311415280>
- Dutcher, J. (2014). What is big data. *Berkley School of Information*.
- Eason, K. (2010). *Sociotechnical systems theory in the 21 st Century : another half-filled glass ?*
- Fallucchi, F., Coladangelo, M., Giuliano, R., & De Luca, E. W. (2020). Predicting Employee Attrition Using Machine Learning Techniques. *Computers 2020*, Vol. 9, Page 86, 9(4), 86. <https://doi.org/10.3390/COMPUTERS9040086>

- Gabor, T., Belzner, L., Kiermeier, M., Beck, M. T., & Neitz, A. (2016). A simulation-based architecture for smart cyber-physical systems. *2016 IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC)*, 374–379. IEEE.
- Genuer, R., & Poggi, J.-M. (2017). Arbres CART et Forêts aléatoires, Importance et sélection de variables. *HAL Archives*, (HAL Id: hal-01387654).
- Ghaoui, C. (Ed.). (2006). *Encyclopedia of Human Computer Interaction*. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-562-7>
- Ginters, E., & Aizstrauta, D. (2018). Technologies sustainability modeling. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 746, 659–668. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77712-2_61
- Ginters, E., Merkurjev, Y., Grabis, J., Straujums, U., & Bicevskis, J. (2017). Requirements model of sociotechnical systems simulator architecture. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 569, 797–806. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56535-4_78
- Girchenko, L. A., Doroshenko, A. Y., & Ziubrytska, Y. V. (2021). Management of the coordination process in sociotechnical system. *PROBLEMS IN PROGRAMMING*, 0(4), 98–109. <https://doi.org/10.15407/PP2020.04.098>
- Google. (2020). *COVID-19 Community Mobility Report*.
- Grieves, M. W. (2019). Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins. In *Complex Systems Engineering: Theory and Practice* (pp. 175–200). <https://doi.org/10.2514/5.9781624105654.0175.0200>
- Gutiérrez, P. A., Hervás-Martínez, C., & Martínez-Estudillo, F. J. (2010). Logistic regression by means of evolutionary radial basis function neural networks. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 22(2), 246–263.
- Haga, T. (2019). Can an unconventional Socio-technical System approach open the way to new solutions and new understanding? *European Journal of Workplace Innovation*, 4(2). <https://doi.org/10.46364/EJWI.V4I2.567>
- Hall, E. T. (1976). Beyond culture. In *Beyond culture*. Oxford, England: Anchor.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data Mining. Concepts and Techniques, 3rd Edition (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems)*.
- Hartman, K., Neuwirth, C. M., Kiesler, S., Sproull, L., Cochran, C., Palmquist, M.,

- & Zubrow, D. (1991). Patterns of Social Interaction and Learning to Write: Some Effects of Network Technologies. *Written Communication*, 8(1), 79–113. <https://doi.org/10.1177/0741088391008001005>
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2001). The elements of statistical learning. Springer series in statistics. In : Springer.
- He, B., Li, Z., Omland, H. O., An, N., & Sun, J. (2009). Management performance of telework teams based on experimental methods. *2009 Chinese Control and Decision Conference*, 5943–5948. IEEE.
- Helander, M. G. (2014). *Handbook of human-computer interaction*. Elsevier.
- Hendon, M., Powell, L., & Hayden, W. (2017). Emotional intelligence and communication levels in information technology professionals. *Elsevier*, 71, 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.048>
- Henkel, M., Zdravkovic, J., Valverde, F., & Pastor, O. (2018). Capability design with cdd. In *Capability Management in Digital Enterprises* (pp. 101–116). https://doi.org/10.1007/978-3-319-90424-5_6
- Hertel, G., Geister, S., & Konradt, U. (2005). Managing virtual teams: A review of current empirical research. *Human Resource Management Review*, 15(1), 69–95. <https://doi.org/10.1016/J.HRMR.2005.01.002>
- Herzberg, Frederic, Mausner, B., & Snyderman, B. (1959). *The motivation to work*. Retrieved from <http://garfield.library.upenn.edu/classics1984/A1984SP02300001.pdf>
- Herzberg, Frederick. (2003). One More Time: How Do You Motivate Employees? *Harvard Business Review*, 81(1), 87–96. Retrieved from https://www.thealexandergroup.com/static/uploads/photos/2012-04/HBR_One_More_Time.pdf
- Huang, R., Kahai, S., & Jestice, R. (2010). The contingent effects of leadership on team collaboration in virtual teams. *Computers in Human Behavior*, 26(5), 1098–1110. <https://doi.org/10.1016/J.CHB.2010.03.014>
- Hughes, A. (2018). *Forging the Digital Twin in Discrete Manufacturing: A Vision for Unity in the Virtual and Real Worlds*. LNS Research.
- Huy, Q., & Shipilov, A. (2012). *The Key to Social Media Success Within*

Organizations.

- Iswari, N. M. S., Budiardjo, E. K., Santoso, H. B., & Hasibuan, Z. A. (2019). E-Business Application Recommendation for SMEs based on Organization Profile using Random Forest Classification. *2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, 522–527. IEEE.
- ITU. (2019). *Measuring digital development*. Retrieved from [https://www.itu.int/en/mediacentre/Documents/MediaRelations/ITU Facts and Figures 2019 - Embargoed 5 November 1200 CET.pdf](https://www.itu.int/en/mediacentre/Documents/MediaRelations/ITU_Facts_and_Figures_2019_-_Embargoed_5_November_1200_CET.pdf)
- ITU. (2020). Developing countries less equipped to use ICTs to minimise disruption caused by coronavirus. Retrieved 8 January 2021, from <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/covid19.aspx>
- Jackson, R. (2019). 6 ways to bring some fun to your Yammer network - Microsoft Tech Community. Retrieved 26 February 2021, from Microsoft Tech Community website: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/yammer-blog/6-ways-to-bring-some-fun-to-your-yammer-network/ba-p/459006>
- Jain, R., & Nayyar, A. (2018). Predicting employee attrition using xgboost machine learning approach. *Proceedings of the 2018 International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends, SMART 2018*, 113–120. <https://doi.org/10.1109/SYSMART.2018.8746940>
- Kaggle. (2017). IBM HR Analytics Employee Attrition & Performance. Retrieved from Open Database website: <https://www.kaggle.com/pavansubhasht/ibm-hr-analytics-attrition-dataset>
- Kane, G. C. (2018). Common Traits of the Best Digital Leaders. Retrieved 24 November 2019, from <https://sloanreview.mit.edu/article/common-traits-of-the-best-digital-leaders/>
- Kılıçaslan, Y., Kayış, A. A., Sickles, R., & Üçdoğruk, Y. (2013). The Impact of ICT on Productivity: Evidence from Turkish Manufacturing Industry. *EY International Congress on Economics I (EYC2013), October 24-25, 2013, Ankara, Turkey*.
- Kraut, R. E. (2003). Applying social psychological theory to the problems of group

- work. *HCI Models, Theories and Frameworks: Toward a Multidisciplinary Science*, 325–356.
- Kruger, J., Epley, N., Parker, J., & Ng, Z.-W. (2005). Egocentrism Over E-Mail: Can We Communicate as Well as We Think? *Psycnet.Apa.Org*.
<https://doi.org/10.1037/0022-3514.89.6.925>
- Langefors, B. (1968). *System for foretagsstyrning*.
- Laravel, L. (2021). *Installation—Laravel—The PHP Framework For Web Artisans*.
- Lasrado, F., & Bagchi, T. (2011). A cross-cultural evaluation of the contemporary workplace and its managerial implications. In *Social Sciences* (Vol. 2). Retrieved from http://ijbmss-ng.com/vol2no1_ijbmss/ijbmss-ng-vol2-no1-pp1-15.pdf
- Lee, J., Azamfar, M., Singh, J., & Siahpour, S. (2020). Integration of digital twin and deep learning in cyber-physical systems: towards smart manufacturing. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, 2(1), 34–36.
- Lektauers, A., Pecerska, J., Bolsakovs, V., Romanovs, A., Grabis, J., & Teilans, A. (2021). A Multi-Model Approach for Simulation-Based Digital Twin in Resilient Services. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 16, 133–145.
<https://doi.org/10.37394/23203.2021.16.10>
- Levi, D. (2014). *Group dynamics for teams*. SAGE.
- Levi, D. (2017). *Group dynamics for teams* (5th ed.). Sage Publications.
- Lie, T., & Liu, C. (2014). Service orientation of information technology professionals: The effect of personal and environmental factors. *New Perspectives in Information Systems and Technologies. Vol. 1. Springer International Publishing*, 1, 51–60. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05951-8_6
- Liu, Y., Liu, L., Gao, Y., & Yang, L. (2019). An Improved Random Forest Algorithm Based on Attribute Compatibility. *2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 2558–2561. IEEE.
- Loucopoulos, P., Kavakli, V., Prekas, N., Rolland, C., Grosz, G., & Nurcan, S. (1997). *Using the EKD approach: the modelling component*.

- Lu, S., Tong, W., & Chen, Z. (2015). Implementation of the KNN algorithm based on Hadoop. *2015 International Conference on Smart and Sustainable City and Big Data (ICSSC)*, 123–126. IET.
- Masad, D., & Kazil, J. (2015). MESA: an agent-based modeling framework. *14th PYTHON in Science Conference*, 53–60. Citeseer.
- McGrath, J. E., & Hollingshead, A. B. (1994). *Groups interacting with technology: Ideas, evidence, issues, and an agenda*. Sage Publications, Inc.
- Melnikovs, M. (2021). *Perspektīvās Tehnoloģijas Noturīgiem un Drošiem Servisiem*. Vidzemes Augstskola.
- Mesmer-Magnus, J. R., DeChurch, L. A., Jimenez-Rodriguez, M., Wildman, J., & Shuffler, M. (2011). A meta-analytic investigation of virtuality and information sharing in teams. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *115*(2), 214–225.
- Microsoft. (2021). Microsoft Teams. Retrieved from <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-teams/group-chat-software>
- Microsoft Inc. (2020). UPDATE: Retirement of Skype for Business Online - Microsoft Lifecycle | Microsoft Docs. Retrieved 26 February 2021, from <https://docs.microsoft.com/en-us/lifecycle/announcements/skype-for-business-online-retirement>
- Microsoft News Center. (2021). Microsoft unveils new Employee Experience Platform — Microsoft Viva — to help people thrive at work - Stories. Retrieved 26 February 2021, from <https://news.microsoft.com/2021/02/04/microsoft-unveils-new-employee-experience-platform-microsoft-viva-to-help-people-thrive-at-work/>
- Morris, A. (2009). *SOCIO-TECHNICAL SYSTEMS IN ICT: A COMPREHENSIVE SURVEY*. Retrieved from <http://www.disi.unitn.it>
- Müller, A. C., & Guido, S. (2016). *Introduction to Machine Learning with Python*.
- Mumford, E. (2006). The story of socio-technical design: Reflections on its successes, failures and potential. *Information Systems Journal*, *16*(4), 317–342.
- Nalina, B. (2016). Internal communication and technology - the secrets of success. *Indian Journal of Science and Technology*, *9*(42).

<https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i42/101681>

- Okerefor, K., & Adelaiye, O. (2020). Randomized cyber attack simulation model: A cybersecurity mitigation proposal for post COVID-19 digital era. *Int. J. Recent Eng. Res. Develop.*, 5(7), 61–72.
- Okerefor, K., & Manny, P. (2020). Understanding Cybersecurity Challenges of Telecommuting and Video Conferencing Applications in the COVID-19 Pandemic. *Journal Homepage: Http://Ijmr. Net. In*, 8(6).
- Parchande, S., Shahane, A., & Dhore, M. (2019). Contractual Employee Management System Using Machine Learning and Robotic Process Automation. *2019 5th International Conference On Computing, Communication, Control And Automation (ICCUBEA)*, 1–5. IEEE.
- Park, J.-G., Lee, S., & Lee, J. (2014). Communication effectiveness on IT service relationship quality. *Emerald.Com*, 114(2), 321–336.
<https://doi.org/10.1108/IMDS-04-2013-0186>
- Pauga, M., & Cakula, S. (2019). Technology-based communication in the business company. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, April-2019*. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725240>
- Pauga, Madara, & Cakula, S. (2019). Motivation in a business company using technologybased communication. *INAIT*. Cambridge.
- Pearson, K. (1897). Mathematical contributions to the theory of evolution.—on a form of spurious correlation which may arise when indices are used in the measurement of organs. *Proceedings of the Royal Society of London*, 60(359–367), 489–498.
- Peero. (2021). Peero App. Retrieved 25 February 2021, from <https://peero.app/en/>
- Pratt, M., Boudhane, M., & Cakula, S. (2020). Predictive Data Analysis Model for Employee Satisfaction Using ML Algorithms. In *ICACIN 2020*. Casablanca.
- Pratt, M., Boudhane, M., & Cakula, S. (2021). Employee Attrition Estimation Using RandomForest Algorithm. *Baltic Journal of Modern Computing*, 9(1), 49–66.
<https://doi.org/10.22364/bjmc.2021.9.1.04>.
- Pratt, M., Boudhane, M., Taskin, N., & Cakula, S. (2021). Use of AI for Improving Employee Motivation and Satisfaction. In *Educating Engineers for Future*

- Industrial Revolutions: Vol. Vol II* (ICL 2020). Springer Nature Switzerland.
- Pratt, M., & Cakula, S. (2020a). THE IMPACT OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES (ITC) ON EMPLOYEES' MOTIVATION. *INTED2020 Proceedings, 1*, 1581–1589.
<https://doi.org/10.21125/inted.2020.0516>
- Pratt, M., & Cakula, S. (2020b). The Impact of Using Technology-Based Communication on Quality of Work Relationships. *Baltic J. Modern Computing*, 8(1), 143–153. <https://doi.org/10.22364/bjmc.2020.8.1.07>
- Pratt, M., & Cakula, S. (2021). Motivation in a business company using technology-based communication. In *Artificial Intelligence in Industry 4.0. Studies in Computational Intelligence* (pp. 15–30). https://doi.org/10.1007/978-3-030-61045-6_2
- Pratt, M., Cakula, S., Majore, G., & Buss, E. (2021). Development of an Effective and Secure Communication System in a Quarantine Situation. *The 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence*. IEEE CPS .
- Punnoose, R., & Ajit, P. (2016). Prediction of Employee Turnover in Organizations using Machine Learning Algorithms. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 5(9), 22–26.
<https://doi.org/10.14569/ijarai.2016.050904>
- Renge, V. (1999). *Organizāciju psihologija*. Riga: Birznieka SIA “Kamene”.
- Rodriguez-Galiano, V. F., Sanchez-Castillo, M., Dash, J., Atkinson, P. M., & Ojeda-Zujar, J. (2016). Modelling interannual variation in the spring and autumn land surface phenology of the European forest. *Biogeosciences*, 13(11), 3305–3317.
- Röse, K. (2004). The Development Of Culture-Oriented Human Machine Systems: Specification, Analysis And Integration Of Relevant Intercultural Variables. In *Cultural Ergonomics* (pp. 61–103). [https://doi.org/10.1016/S1479-3601\(03\)04003-7](https://doi.org/10.1016/S1479-3601(03)04003-7)
- Röse, K., & Züblke, D. (2001). Culture-Oriented Design: Developers' Knowledge Gaps in this Area. *IFAC Proceedings Volumes*, 34(16), 11–16.

[https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)41494-7](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)41494-7)

- Sandkuhl, K., & Stirna, J. (2020). Supporting early phases of digital twin development with enterprise modeling and capability management: Requirements from two industrial cases. *Lecture Notes in Business Information Processing*, 387 LNBIP, 284–299. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49418-6_19
- Sandkuhl, K., Stirna, J., Persson, A., & Wißotzki, M. (2014). *Enterprise Modeling Tackling Business Challenges with the 4EM Method* (309th ed.). Retrieved from <http://www.springer.com/series/8371>
- Scornet, E., Biau, G., & Vert, J.-P. (2015). Consistency of random forests. *The Annals of Statistics*, 43(4), 1716–1741.
- Shih, S., Lie, T., Klein, G., & Jiang, J. (2014). Information technology customer aggression: The importance of an organizational climate of support. *Elsevier*, 51(6), 670–678. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720614000780>
- Slack Technologies, I. (2021). Features | Slack. Retrieved 22 March 2021, from <https://slack.com/features>
- Smerek, R. E., & Peterson, M. (2006). Examining Herzberg's Theory: Improving Job Satisfaction among Non-academic Employees at a University. *Research in Higher Education*, 48(2), 229–250. <https://doi.org/10.1007/s11162-006-9042-3>
- Stachowiak, H. (1973). General model theory. *Springer*.
- Steers, M.-L. N., Wickham, R. E., & Acitelli, L. K. (2014). Seeing Everyone Else's Highlight Reels: How Facebook Usage is Linked to Depressive Symptoms. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 33(8), 701–731. <https://doi.org/10.1521/jscp.2014.33.8.701>
- Steers, R. M., Mowday, R. T., & Shapiro, D. L. (2014). Introduction To Special Topic Forum: the Future of Work Motivation Theory. *Academy of Management Review*, 29(3), 379–387.
- Tamrat, E., & Warren, J. (1995). Framework for the assessment of feasibility of telecommuting in Australian organisations. *Proceedings of the Twenty-Eighth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 4, 436–445.

IEEE.

- Tannenbaum, S. I., Mathieu, J. E., Salas, E., & Cohen, D. (2012). Teams Are Changing: Are Research and Practice Evolving Fast Enough? *Industrial and Organizational Psychology*, 5(1), 2–24. <https://doi.org/10.1111/j.1754-9434.2011.01396.x>
- Thompson, L. F., & Coover, M. D. (2006). Understanding and Developing Virtual Computer-Supported Cooperative Work Teams. In *Creating high-tech teams: Practical guidance on work performance and technology*. (pp. 213–241). <https://doi.org/10.1037/11263-010>
- Thurow, L. C. (1992). Who owns the twenty-first century? *Sloan Management Review*, 33(3). Retrieved from <https://search.proquest.com/openview/98c52f2b368fafa4d1e77437b41813b8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=26142>
- Torizuka, K., Oi, H., Saitoh, F., & Ishizu, S. (2018). Benefit segmentation of online customer reviews using random forest. *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 487–491. IEEE.
- Trist, E. L. (1981). *The evolution of socio-technical systems* (Vol. 2). Ontario Quality of Working Life Centre Toronto.
- Tutorials Point. (2021). Machine Learning - Logistic Regression - Tutorialspoint. Retrieved 26 February 2021, from https://www.tutorialspoint.com/machine_learning_with_python/machine_learning_with_python_classification_algorithms_logistic_regression.htm
- Tusubira, F. F., & Mulira, N. (2004). Integration of ICT in organisations: Challenges and best practice recommendations based on the experience of Makerere University and other organizations. *Presented to Conference on “Universities: Taking a Leading Role in ICT Enabled Human Development”*.
- Vignovic, J. A., & Thompson, L. F. (2010). Computer-mediated cross-cultural collaboration: Attributing communication errors to the person versus the situation. *Journal of Applied Psychology*, 95(2), 265.
- Volkwein, J. F., & Zhou, Y. (2003). Testing a model of administrative job satisfaction. *Research in Higher Education*, 44(2), 149–171.

- Wager, S. (2014). Asymptotic theory for random forests. *ArXiv Preprint ArXiv:1405.0352*.
- Wallace, J. R., Oji, S., & Anslow, C. (2017). Technologies, Methods, and Values: Changes in Empirical Research at CSCW 1990-2015. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 1*(CSCW), 1–18.
<https://doi.org/10.1145/3134741>
- Warren, T. (2021). Microsoft Viva: a new platform designed for the future of remote work - The Verge. Retrieved 26 February 2021, from <https://www.theverge.com/2021/2/4/22265954/microsoft-viva-platform-features-remote-work>
- Weil, T., & Murugesan, S. (2020). IT Risk and Resilience-Cybersecurity Response to COVID-19. *IT Prof.*, 22(3), 4–10.
- Whetten, D. A., & Cameron, K. S. (2011). Developing management skills. *Prantice Hall*, pp. 377–441. Retrieved from <file:///Users/madarapauga/Desktop/Whetten-Cameron-ch7-ManagingConflict.pdf>
- Wilkerson, J. (2012). An Alumni Assessment of MIS Related Job Skill Importance and Skill Gaps. *Journal of Information Systems Education, 23*(1). Retrieved from <https://aisel.aisnet.org/jise/vol23/iss1/8>
- Willars, H. (1988). *Handbok i ABC-metoden (in Swedish) Plandata Strategi*.
- Winby, S., & Mohrman, S. A. (2018). Digital Sociotechnical System Design: <https://doi.org/10.1177/0021886318781581>, 54(4), 399–423.
<https://doi.org/10.1177/0021886318781581>
- Workman, M., Kahnweiler, W., & Bommer, W. (2003). The effects of cognitive style and media richness on commitment to telework and virtual teams. *Journal of Vocational Behavior, 63*(2), 199–219. [https://doi.org/10.1016/S0001-8791\(03\)00041-1](https://doi.org/10.1016/S0001-8791(03)00041-1)
- Wren, D. A., & Bedeian, A. G. (1994). *The evolution of management thought*. Wiley.
- Wright, L., & Davidson, S. (2020). How to tell the difference between a model and a digital twin. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*,

7(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40323-020-00147-4>

Yang, S., & Islam, M. T. (2020). IBM Employee Attrition Analysis. *ArXiv Preprint ArXiv:2012.01286*.

Yang, W., Tan, Y., Yoshida, K., & Takakuwa, S. (2017). Digital twin-driven simulation for a cyber-physical system in Industry 4.0. *DAAAM International Scientific Book*, 227–234.

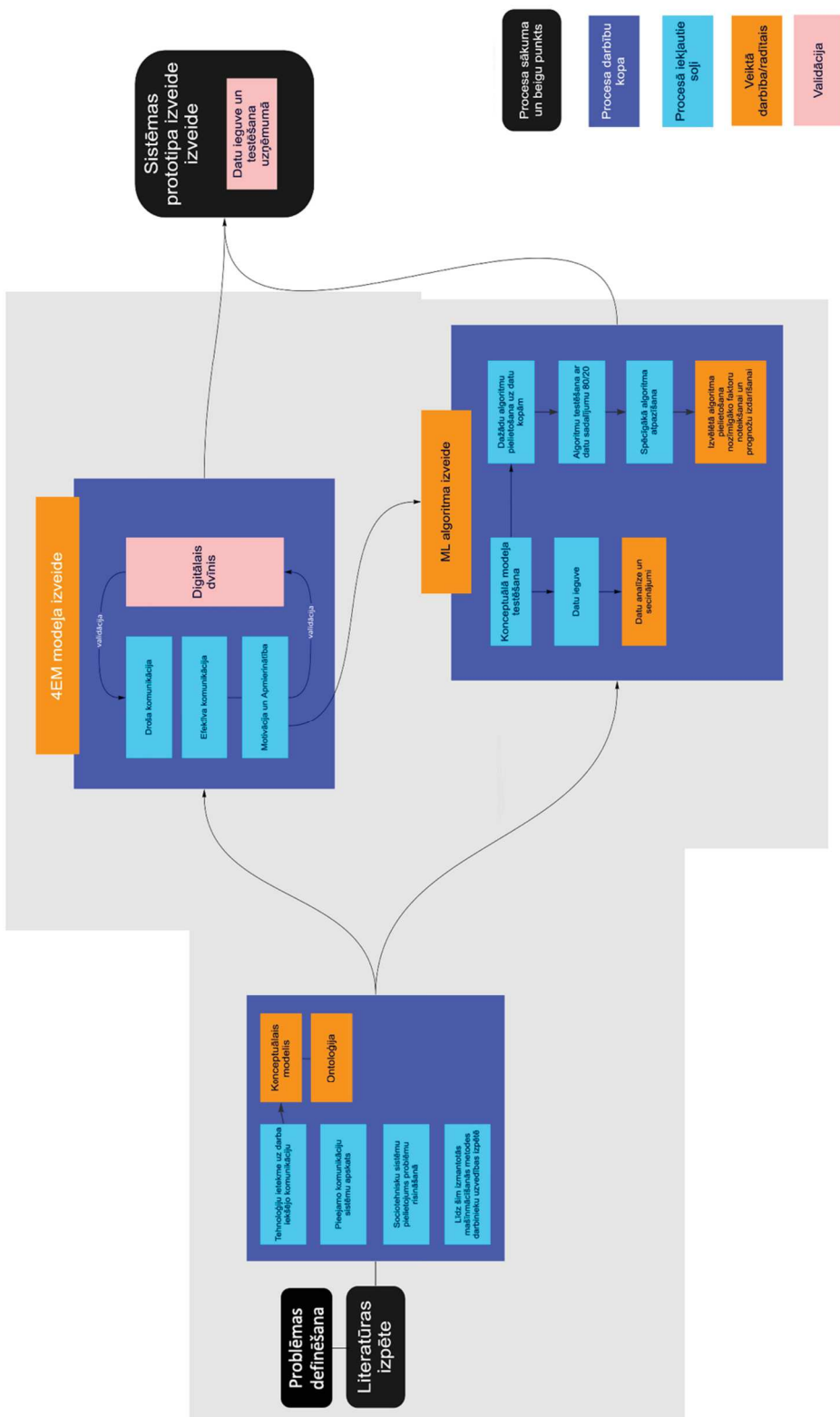
Yang, Y., Wang, J., & Yang, Y. (2012). Improving SVM classifier with prior knowledge in microcalcification detection1. *2012 19th IEEE International Conference on Image Processing*, 2837–2840. IEEE.

Yücel, İ. (2012). Examining the Relationships among Job Satisfaction, Organizational Commitment, and Turnover Intention: An Empirical Study. *International Journal of Business and Management*, 7(20).
<https://doi.org/10.5539/ijbm.v7n20p44>

PIELIKUMI

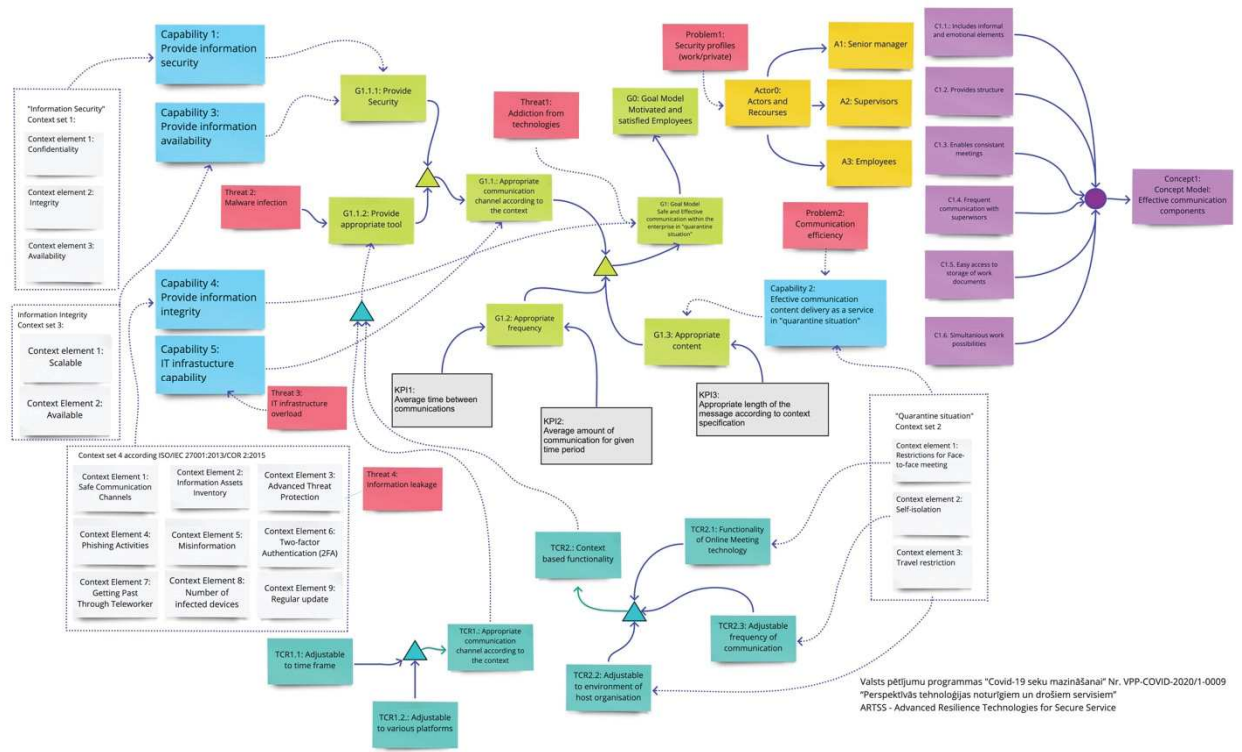
1. Pielikums

Promocijas darba struktūras vizualizācija.



2. pielikums

Drošas attālinātās darba vietas 4EM modelis efektīvai komunikāciju sistēmai karantīnas situācijā (Pratt, Cakula, Majore, Buss, 2021).



3. pielikums

Aptaujas jautājumu pielāgots tulkojums no Smereka un Petersona (2006) anketas (Smerek et al., 2006).

Kods iekšējai lietošanai		Tulkotie jautājumi (no Smerek & Peterson, 2006)
REC_1	1	Mans darba devējs pamana labi padarītu darbu
REC_2	2	Darba devējs novērtē manus centienus
REC_3	3	Pēdējo 7 dienu laikā esmu saņēmis atzinību vai uzslavas, kad esmu paveicis ko ārkārtēju
REC_4	4	Es saņemu atbilstošu atzinību, kad esmu paveicis ko ārkārtēju
REC_5	5	Pateicības un atzinības izteikšana manā organizācijā ir izplatīta
WRK_1	6	Man patīk šāda veida darbs
WRK_2	7	Mans darbs ir interesants
WRK_3	8	Mans darbs dod man gandarījuma sajūtu par paveikto
WRK_4	9	Mans ieguldījums uzņēmumā ir nozīmīgs
ADV_1	10	Manā organizācijā pastāv paaugstināšanas vai izaugsmes iespējas
ADV_2	11	Es zinu, kas man ir nepieciešams, lai virzītos uz priekšu organizācijā
ADV_3	12	Iekšējie kandidāti saņem taisnīgu izskatīšanu atvērtajiem amatiem
ADV_4	13	Informācija par brīvajām darba vakancēm organizācijā ir viegli pieejama
GTH_1	14	Mana organizācija piedāvā apmācības vai izglītošanās iespējas, kas man nepieciešamas, lai augtu savā darbā
GTH_2	15	Esmu saņēmis nepieciešamo apmācību, lai labi veiktu savu darbu
GTH_3	16	Pēdējā gada laikā man ir bijušas iespējas darbā mācīties un augt
GTH_4	17	Darbā ir kāds, kurš iedrošina manu attīstību
GTH_5	18	Pēdējā gada laikā kāds ir runājis ar mani par manu progresu
GFO_1	19	Es izjūtu spēcīgu piederību organizācijai
GFO_2	20	Man patīk runāt par organizāciju ar cilvēkiem, kuri šeit nestrādā
GFO_3	21	Esmu cieši apņēmis darboties organizācijā
GFO_4	22	Es lepojos, ka strādāju šajā organizācijā
GFO_5	23	Man rūp organizācijas nākotne
MIS_1	24	Es saprotu, kā mans darbs atbalsta uzņēmējdarbības misiju
MIS_2	25	Es saprotu, kā mans darbs atbalsta organizācijas pakalpojumu sniegšanas misiju
MIS_3	26	Es saprotu, kā mans darbs atbalsta manas nodaļas / nodaļas misiju
MIS_4	27	Es zinu, ko no manis sagaida darbā

MIS_5	28	Darbs tiek organizēts tā, lai katrs cilvēks varētu redzēt attiecības starp savu darbu un organizācijas mērķiem.
MIS_6	29	Manas nodaļas mērķi man ir skaidri
SMG_1	30	Augstākā vadība darbiniekus informē
SMG_2	31	Augstākā vadība efektīvi paziņo mūsu organizācijas mērķus un stratēģijas
SMG_3	32	Augstākā vadība demonstrē vadības praksi, kas atbilst mūsu organizācijas noteiktajām vērtībām
SPV_1	33	Mans vadītājs labi komunicē
SPV_2	34	Mans vadītājs efektīvi vada cilvēkus
SPV_3	35	Mans vadītājs ir efektīvs lēmumu pieņēmējs
SPV_4	36	Kopumā kā jūs vērtētu savu vadītāju?
SPV_5	37	Mans vadītājs izveido vidi, kas veicina uzticēšanos
SPV_6	38	Mans vadītājs ir pretimnākošs un ar viņu ir viegli sarunāties
SPV_7	39	Mans vadītājs rūpējas par mani kā par personu
SPV_8	40	Mans vadītājs ikdienas darbā ir ētisks
SPV_9	41	Mans vadītājs sniedz man konstruktīvas atsauksmes par manu sniegumu
SPV_10	42	Mans vadītājs efektīvi tiek galā ar sliktu sniegumu
SPV_11	43	Mans vadītājs pret mani izturas ar cieņu
SPV_12	44	Mans vadītājs pamana manu labi paveikto darbu
SPV_13	45	Mans vadītājs apsver manas idejas
SPV_14	46	Mans vadītājs man uzticas
SPV_15	47	Manam vadītājam ir skaidrs priekšstats par to, kurp iet mūsu nodaļa un kā tur nokļūt
CWR_1	48	Es uzticos saviem kolēģiem
CWR_2	49	Mani kolēģi pastāvīgi izturas ar cieņu
CWR_3	50	Es varu paļauties, ka mani kolēģi palīdzēs, kad tas būs nepieciešams
CWR_4	51	Mēs un mani kolēģi strādājam kā daļa no komandas
CWR_5	52	Manā organizācijā cilvēki rūpējas par otru
CWR_6	53	Kāds manā nodaļā rūpējas par mani kā par personu
CWR_7	54	Kad es pievienojos savai nodaļai, mani lika justies laipni gaidītam
CWR_8	55	Mana darba grupa efektīvi sadarbojas ar citām darba grupām un departamentiem
SAL_1	56	Mana darba samaksas likme ir konkurētspējīga, salīdzinot ar līdzīgiem darbiem citās organizācijās
SAL_2	57	Man ir taisnīga samaksa par paveikto darbu
SAL_3	58	Es saprotu, kā tiek noteikta mana pamatalga
SAL_4	59	Mana alga / algas likme ir nozīmīgs faktors lēmumā palikt organizācijā
BEN_1	60	Organizācija piedāvā bonusu atbilst manām vajadzībām

BEN_2	61	Manas izmaksas, kas saistītas ar pabalstu plānu (līdzmaksājumi, atskaitījumi, prēmijas), ir pamatotas
BEN_3	62	Bonusu pakete ir nozīmīgs faktors manā lēmumā palikt organizācijā
BEN_4	63	Organizācijas bonusu pakete man ir pietiekami izskaidrota
VAL_1	64	Uzņēmuma pamatvērtību ignorēšana radīs man nepatikšanas
VAL_2	65	Ir skaidra un konsekventa vērtību kopa, kas nosaka uzņēmuma darbības veidu
VAL_3	66	Visām uzņēmējdarbības un operāciju vienībām / departamentiem ir kopīgas vērtības
SAT_1	67	Iedomājieties savu ideālo darbu. Cik labi jūsu pašreizējā pozīcija pielīdzināma šim ideālajam darbam?
SAT_2	68	Cik apmierināts esat ar savu pašreizējo darbu kopumā?
SAT_3	69	Apsveriet visas cerības, kādas jums bija, uzsākot pašreizējo darbu. Cik lielā mērā jūsu pašreizējais darbs atbilst vai pārsniedz šīs cerības?
TRN_1	70	Cik nopietni pēdējos mēnešos esat domājis par darba meklēšanu pie cita darba devēja?
TRN_2	71	Cik nopietni pēdējos mēnešos esat domājis par citas nozares darbu?
TRN_3	72	Cik nopietni pēdējo mēnešu laikā esat apsvēris darbu ārpus savas pašreizējās pilsētas?
TRN_4	73	Cik iespējams, ka nākamajā gadā jūs nopietni centīsities atrast citu darbu?

4. pielikums

Komunikācijas rīka *Comets* apraksts (ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009)



Communication for Managerial and Employment Technology System

Mērķis: Nodrošināt efektīvu un drošu komunikācijas sistēmu, kas apvieno dažādus komunikācijas kanālus: e-pastu, videokonferences, aptaujas un arī informē uzņēmuma vadītāju par to, kā jūtas viņa darbinieki, palīdz kompensēt tiešās komunikācijas trūkumu, kas radies, strādājot attālināti. Rīka mērķis ir palīdzēt uzņēmuma vadītājiem uzturēt komunikāciju ar uzņēmuma darbiniekiem un noteikt kā jūtas darbinieki. Iespējamā mērķa auditorija būtu uzņēmumi, kuru darbinieki strādā attālinātā darba režīmā.

Funkcionalitāte: Sistēma sevī apvieno trīs galvenās sadaļas e-pasti, sanāksmes un aptaujas. Ar e-pastu sadaļas starpniecību sistēma ļauj uzņēmuma vadītājiem izsūtīt individuālus vai kopējus e-pastus saviem darbiniekiem. Izmantojot sanāksmju sadaļu uzņēmuma vadītājs var organizēt un plānot sanāksmes un izsūtīt informāciju par ieplānoto tiešsaistes sanāksmi saviem darbiniekiem un pēc sanāksmes saņemt darbinieku novērtējumu par sanāksmi. Uzņēmuma vadītājs var izveidot dažādas aptaujas, kuras aizpilda darbinieki. Sistēmā ir iekļauta arī čata funkcionalitāte un darbinieku sajūtu indikators Par sanāksmēm un izveidotajām aptaujām sistēma informē sistēmas lietotājus ar e-pastu starpniecību.

1. Grafiskais lietotāju interfeiss

Sistēma ir izstrādāta, lai spētu vienlīdz labi darboties kā uz datoriem un mobilajām ierīcēm. Tā balstīta uz Bootstrap 4 grafisko ietvaru, kurš balstīts uz kolonu principa. Sistēmā iekļautas dažādas lietas kuras atvieglo tās lietošanu. kā piemēram, datuma izvēlne un e-pastu rakstīšanas WYSIWYG logs.

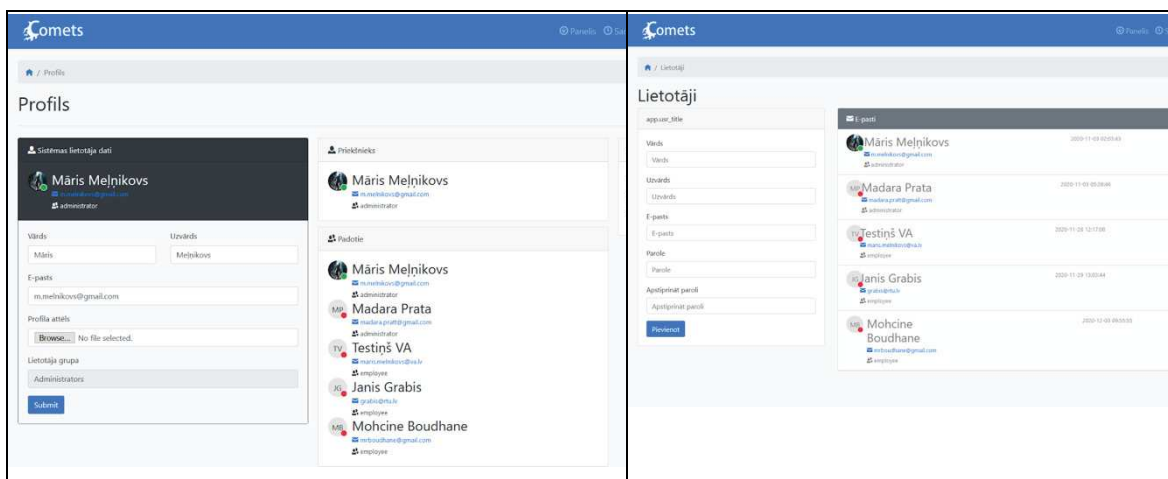
The screenshot displays the Comets web application interface, which is a user management system. It is divided into several sections:

- User Management (Lietotāji):** A table listing users with columns for name, email, role, and last login. The table contains the following data:

Vārds	E-pasts	Parole	Apstiprināt paroli	Apstiprināt paroli	Laiks
Māris Meļņikovs	m.melnikovs@gmail.com	administrator			2020-11-03 02:05:43
Madara Prata	madara.prata@gmail.com	administrator			2020-11-03 09:26:46
Testiņš VA	māris.melnikovs@ca.lv	employee			2020-11-29 12:17:06
Janis Grabis	grabisj@ca.lv	employee			2020-11-29 13:02:44
Mohcine Boudhane	mcboudhane@gmail.com	employee			2020-12-01 09:05:53
- Date and Time (Datums un Laiks):** A date and time picker. The date is set to November 25, 2020. The time is set to 22:40. A calendar grid is visible for the month of November 2020.
- User Profile (Profils):** A form for editing the user profile. The user is Māris Meļņikovs, administrator, with email m.melnikovs@gmail.com. The form includes fields for name, surname, email, profile picture, and user group (Administrators).
- Email Editor (e-pastu rakstīšanas WYSIWYG logs):** A rich text editor for composing emails. It includes a toolbar with options for bold, italic, underline, font size, color, and background color. The editor content shows a sample of text: "User can manage how e-mail text will look like".

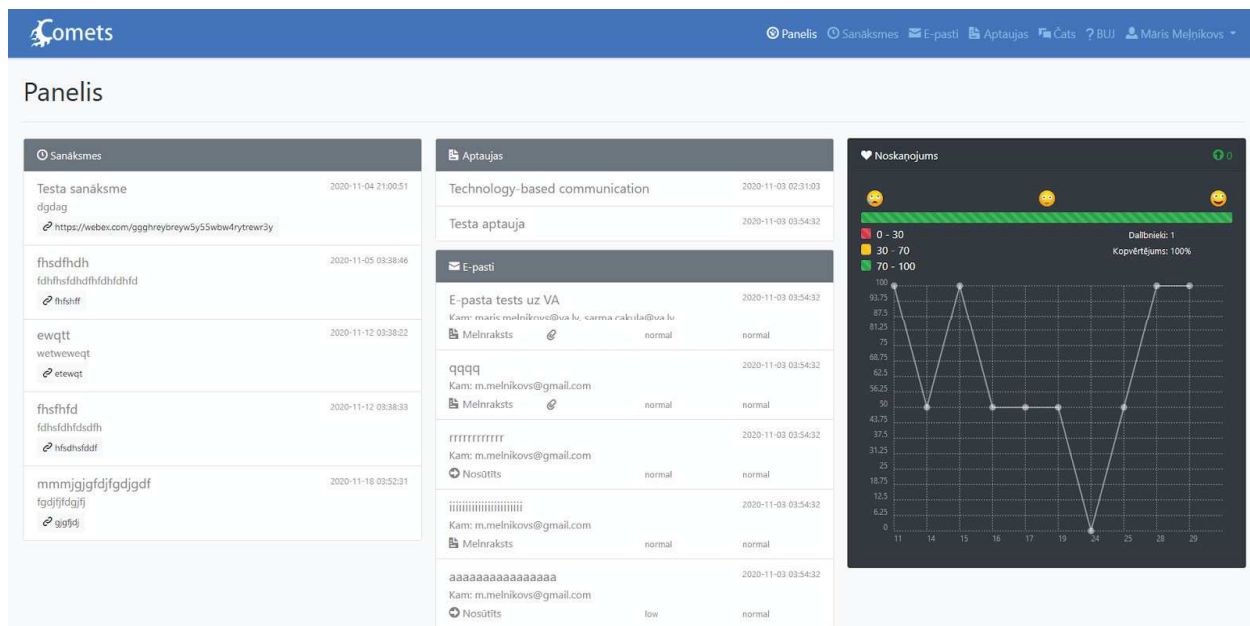
2. Lietotāju funkcionalitāte

Lietotāji var reģistrēties paši vai tos var reģistrēt sistēmas administrators. Administrators var izveidot jaunus lietotājus vai dzēst tos. Lietotāji paši var mainīt sava profila informāciju (vārdu, uzvārdu, e-pastu, profila attēlu). Katrs sistēmas lietotājs var redzēt citu sistēmas lietotāju profilu un uzzināt vai lietotājs ir tiešsaistē un kad pēdējo reizi lietotājs ir bijis autorizējies.



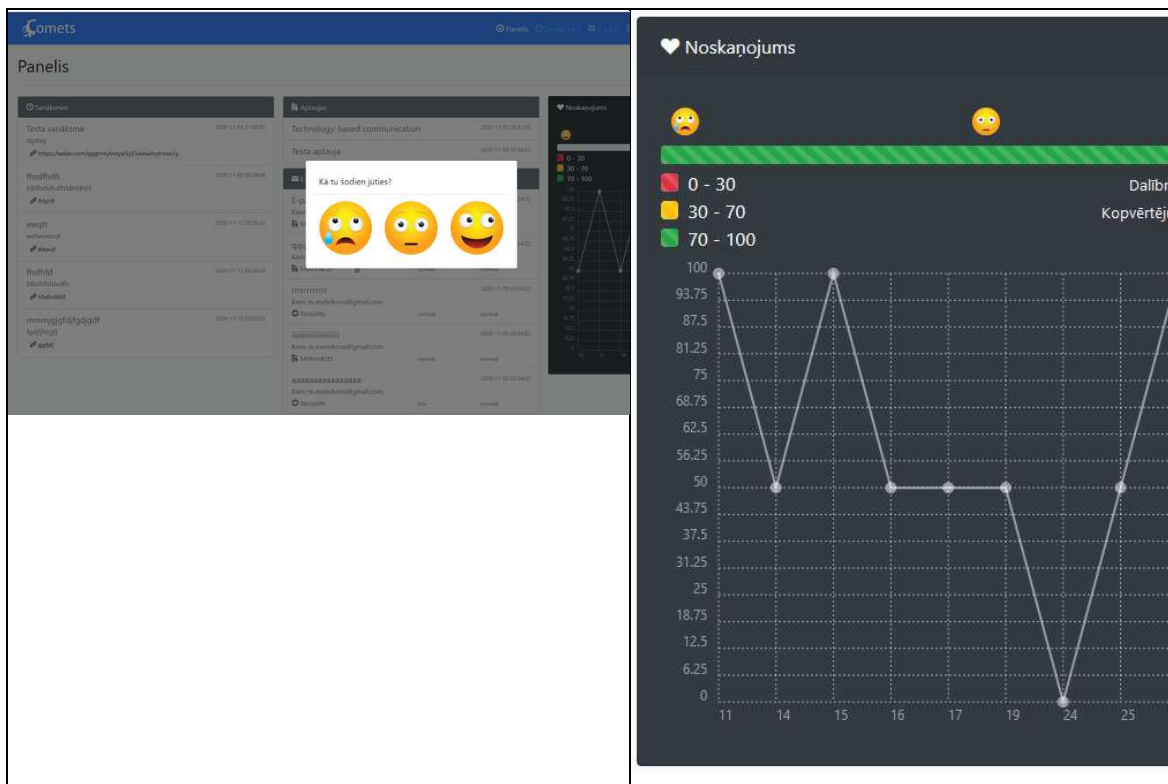
3. Panelis

Šajā sistēmas sadaļā ir apkopota informācija no visām sistēmas sadaļām, e-pasti, aptaujas, sanāksmes un lietotāja noskaņojuma moduli. Šī ir galvenā lapa kuru redz autorizējies lietotājs.



4. Lietotāja noskaņojums

Sistēma katru dienu ievāc informāciju par to kā jūtas sistēmas lietotāji. Katru dienu lietotājam autorizējoties sistēmā tiek attēlots iznirstošais logs ar jautājumu: “Kā tu šodien jūties?”. Uzņēmuma vadītājs var redzēt kopējo statistiku kā šodien jūtas uzņēmuma darbinieki. Uzņēmuma darbinieku noskaņojums ir anonīms. Šodienas kopējais uzņēmuma darbinieku noskaņojums tiek attēlots paneļa modulī un tiek salīdzināts ar vakardienas darbinieku noskaņojumu. Administratoram ir iespējams aplūkot sistēmas lietotāju noskaņojumu par pēdējām 10 dienām uzskatāmas diagrammas veidā.



5. E-pasta funkcionalitāte

Sistēma ļauj nosūtīt automātiskus un manuālus e-pastus sistēmas lietotājiem un arī tiem kuri nav sistēmas lietotāji sūtot tos individuāli vai sūtot kādai grupai. Automātisks E-pasts tiek nosūtīts gadījumā kad lietotājs izveido kontu, vai kad uzņēmuma vadītājs izveido jaunu sanāksmi, aptauju utt. E-pasta forma atbalsta faila pielikumus. Attēlā var redzēt manuālo e-pasta nosūtīšanas formu, kura iekļauj WYSIWYG ziņojuma lauku un attēla pievienošanas lauku.

E-pasti / E-pasta tests ar pielikumiem

E-pasta tests ar pielikumiem

Sanēmeji Normal

m.melnikovs@gmail.com

E-pasta tests ar pielikumiem

B **U** **A** **16** **☰** **☰** **☰** **☰**

lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur at sapien porttitor, varius dolor et, commodo nibh. Vestibulum eu accumsan tellus, vestibulum viverra libero. Nulla placerat blandit elit a sollicitudin. Pellentesque viverra lacus sit amet vehicula pulvinar. Donec a lectus vel purus hendrerit blandit. Quisque vel magna faucibus risus cursus blandit. Nullam ut metus in nunc hendrerit finibus. Vestibulum rutrum leo lorem. Praesent iaculis eros id diam aliquet, a cursus felis eleifend. Pellentesque interdum consectetur eros, nec euismod massa eleifend in. Vestibulum bibendum quam risus, id euismod sem auctor sit amet. Cras lectus ante, cursus vel libero et, bibendum mattis leo. Vestibulum bibendum lectus id quam laoreet, nec commodo lectus accumsan. Mauris luctus ligula sed turpis congue faucibus. Suspendisse quis eros finibus, porttitor libero vitae, rutrum mauris.

Pellentesque ullamcorper, dui vitae semper efficitur, sapien dolor pulvinar felis, quis pulvinar magna augue et quam. Sed diam diam, vulputate ut dolor nec, euismod viverra urna. Phasellus at euismod dui. Sed placerat bibendum quam a rhoncus. Curabitur aliquet non purus et pulvinar. Praesent dui purus, ornare id tortor in, imperdiet auctor nisi. Aenean diam justo, consectetur eget tellus nec, dignissim condimentum diam. Donec rutrum sollicitudin diam ut maximus. Vivamus ac ante at metus malesuada congue vel quis elit.

Vestibulum gravida mauris id semper imperdiet. Mauris placerat, felis sit amet mattis molestie, tortor diam sodales lectus, in cursus metus turpis eget diam. Phasellus porttitor cursus erat et luctus. Quisque pharetra iaculis ex ac sollicitudin. Fusce est nisi, fringilla at arcu nec, malesuada viverra turpis. Duis ut magna id ipsum vulputate ullamcorper id quis lectus. Suspendisse congue aliquam tellus ut sagittis. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia curae.

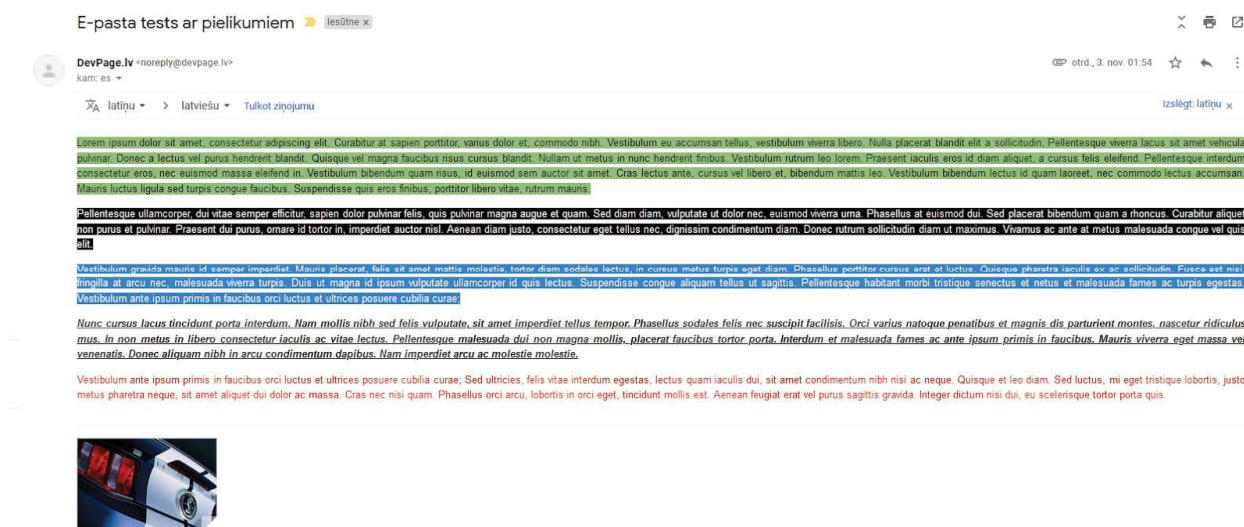
Nunc cursus lacus tincidunt porta interdum. Nam mollis nibh sed felis vulputate, sit amet imperdiet tellus tempor. Phasellus sodales felis nec suscipit facilisis. Orci varius natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. In non metus in libero consectetur iaculis ac vitae lectus. Pellentesque malesuada dui non magna mollis, placerat faucibus tortor porta. Interdum et malesuada fames ac ante ipsum primis in faucibus. Mauris viverra eget massa vel venenatis. Donec aliquam nibh in arcu condimentum dapibus. Nam imperdiet arcu ac molestie molestie.

Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia curae; Sed ultrices, felis vitae interdum egestas, lectus quam iaculis dui, sit amet condimentum nibh nisi ac neque. Quisque et leo diam. Sed luctus, mi eget tristique lobortis, justo metus pharetra neque, sit amet aliquet dui dolor ac massa. Cras nec nisi quam. Phasellus orci arcu, lobortis in orci eget, tincidunt mollis est. Aenean feugiat erat vel purus sagittis gravida. Integer dictum nisi dui, eu scelerisque tortor porta quis.

ford-shelby-gt500-wallpaper-6.jpg

No file selected.

Attēlā var aplūkot kā izskatās nosūtīts e-pasts.



E-pastu sadaļa ļauj pievienot un nosūtīt e-pastus kā arī aplūkot un labot jau nosūtītos e-pastus.

The screenshot displays the Comets webmail interface. The top navigation bar includes the Comets logo and links for 'Panelis', 'Sarakstmes', 'E-pasti', 'Aptaujas', 'Cats', '? BUJ', and 'Māris Melnikovs'. The main header shows 'E-pasti' with a home icon and the text 'E-pasti'.

The left sidebar contains a composition window with the following elements:

- Buttons for 'Saņēmeji', 'Vidēja', and 'Neformāls'.
- A text input field containing 'Saņēmeji'.
- A 'Temats' (Subject) input field.
- A rich text editor with icons for bold, italic, underline, text color, background color, bulleted list, numbered list, and link.
- A 'Browse...' button with the text 'No file selected.' below it.
- 'Nosūtīt' (Send) and 'Saglabāt melnrakstu' (Save draft) buttons.

The right sidebar shows a list of sent emails under the heading 'E-pasti':

Preview	Date
E-pasta tests uz VA Kam: māris.melnikovs@va.lv, sarma.cakula@va.lv Melnraksts	2020-11-20 11:54:19
qqqq Kam: m.melnikovs@gmail.com Melnraksts	2020-12-01 15:04:44
iiiiiiiiiiii Kam: m.melnikovs@gmail.com Nosūtīts	2020-12-01 15:05:53
iiiiiiiiiiiiiiiiiiii Kam: m.melnikovs@gmail.com Melnraksts	2020-12-01 15:06:24
aaaaaaaaaaaaaaaa Kam: m.melnikovs@gmail.com Nosūtīts	2020-12-01 15:07:20
test Kam: m.melnikovs@gmail.com Nosūtīts	2020-12-08 21:01:54

6. Aptauju sadaļa

Aptauju sadaļā uzņēmuma vadītājs var izveidot aptaujas, kuras dod aizpildīt uzņēmuma darbiniekiem. Aptauju sadaļas var tikt nosūtītas kā e-pasts uzņēmuma darbiniekiem. Šī sadaļa vēl nav pabeigta. Šeit ir viena statistiska sistēmas aptauja un ir iespējams pievienot arī aptaujas no ārējiem resursiem.

Aptaujas

Technology-based communication

This is a survey for my Ph.D. thesis research, it is anonymous and will be used only for the research purposes. The aim of this research is to investigate technology-based communication's effect factors affecting it and also the effect on motivation and job satisfaction of employees. Thank you for taking your time to answer these questions.

Best regards,
Māraņa Puuga
Vidzeme University of Applied Sciences, Latvia

1. Mūsu darbu droši pamana labi padarītu darbu? 26. Es sapņoju, kā mans darbs atbilstoši manas nodarbes / nodarbes mīļai? 31. Man ir un

2. Darba devēju novērtē manas cenšanos? 27. Es oļhu, ko no manis sagaida darba? 32. Man ir o

3. Paldies / dēnu likti esmu saņemis atzinību vai uzslavas, kad esmu paveris ko arkatāju? 28. Darbu tiek organizēts tā, lai katrs cilvēks varētu nodot atbildības stāvu savs darbu un organizācijas mērķiem? 33. Kāds m

Nosūtīts

testiņš	Kam: m.melnikovs@gmail.com	2020-11-03 02:31:03	high	normal
Nosūtīts			high	normal
testiņš	Kam: m.melnikovs@gmail.com	2020-11-03 02:31:03	high	normal
Nosūtīts			high	normal

Aptaujas Atbildes

Apmierinātība 5.35
Aizpildītas anketas 2

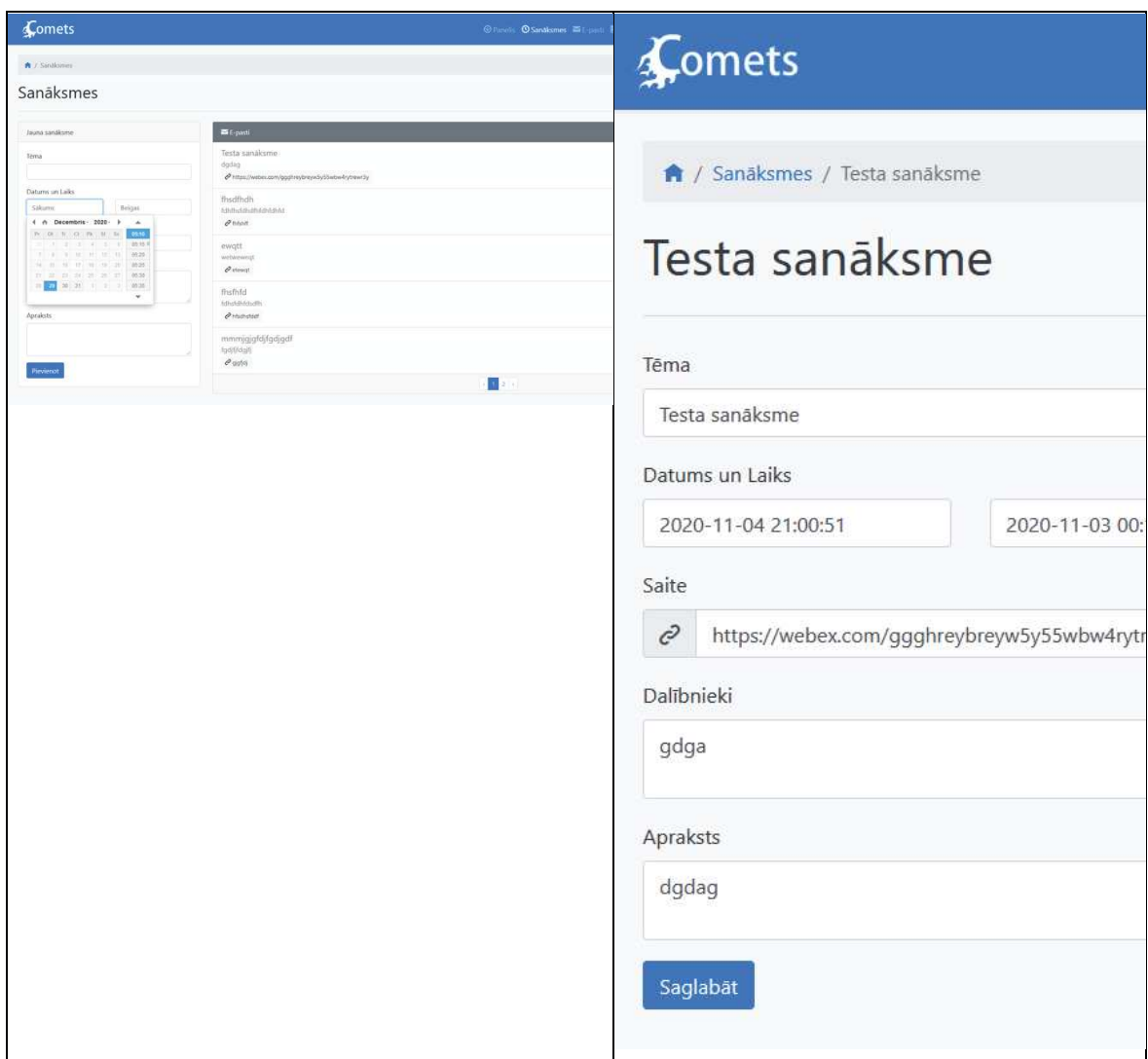
REC	7.45
WRK	6.31
ADV	5.69
GTH	6
GFO	6.35
MIS	6.33
SMG	5.25
SPV	3.65
CWR	3.53
SAL	2.69
BEN	3.31
VAL	4.42
SAT	4.33
TRN	5.06

Aptaujas

Id	REC	WRK	ADV	GTH	GFO	MIS	SMG	SPV	CWR	SAL	BEN	VAL	SAT	TRN	Aktivitāte	Laiks
1	7.45	6.31	5.69	6	6.35	6.33	5.25	3.65	3.53	2.69	3.31	4.42	4.33	5.06	Lejupielādēt	2021.03.29 08:21
2	4.73	5.42	5	5.13	5.33	4.94	3.22	4.98	4.25	4.5	5.25	5.22	5.44	2.67	Lejupielādēt	2021.03.29 22:37
3	1	1	1.5	1.6	1	1.17	1.67	1.27	1	1.25	1	1	1	1.5	Lejupielādēt	2021.03.29 08:23

7. Sanāksmju sadaļa

Sanāksmju sadaļa ļauj uzņēmuma vadītājam izveidot sanāksmes un nosūtīt saistītajiem lietotājiem e-pastu par izveidoto sanākumi.



The image shows two side-by-side screenshots of the Comets web application interface for creating a meeting.

Left Screenshot (Creation Form):

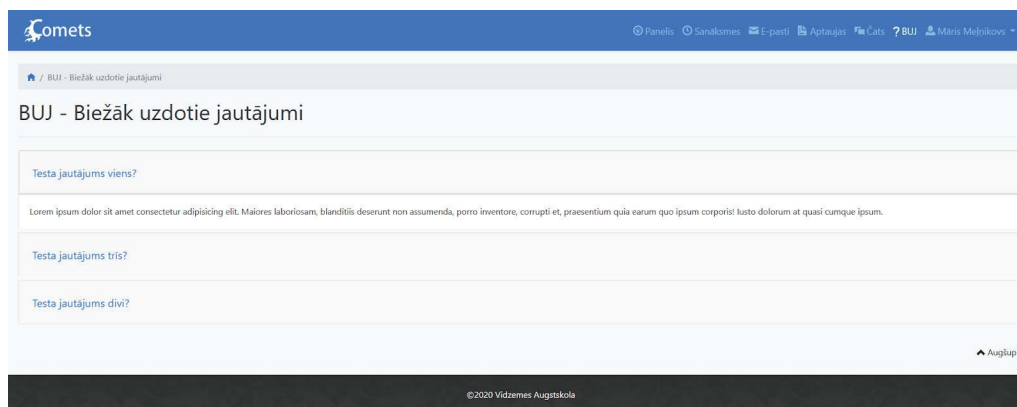
- Header:** Comets logo and navigation links (Home, Sanāksmes, E-pasts).
- Breadcrumbs:** / Sanāksmes
- Section:** Sanāksmes
- Form Fields:**
 - Tēma:** Text input field.
 - Datums un Laiks:** Date and time selection interface with a calendar for December 2020 and a time picker.
 - Apraksts:** Text area for the meeting description.
 - Buttons:** "Pievienot" (Add).
- Preview Panel (Right side of the form):**
 - Event Title:** Testa sanāksme
 - Location:** https://webex.com/ggghreybreyw5y55wbw4rytr
 - Attendees:** List of participants with names and email addresses.

Right Screenshot (Preview):

- Header:** Comets logo and navigation links.
- Breadcrumbs:** / Sanāksmes / Testa sanāksme
- Section:** Testa sanāksme
- Form Fields:**
 - Tēma:** Testa sanāksme
 - Datums un Laiks:** 2020-11-04 21:00:51 and 2020-11-03 00:00:00
 - Saite:** https://webex.com/ggghreybreyw5y55wbw4rytr
 - Dalībnieki:** gdga
 - Apraksts:** dgdag
 - Buttons:** "Saglabāt" (Save)

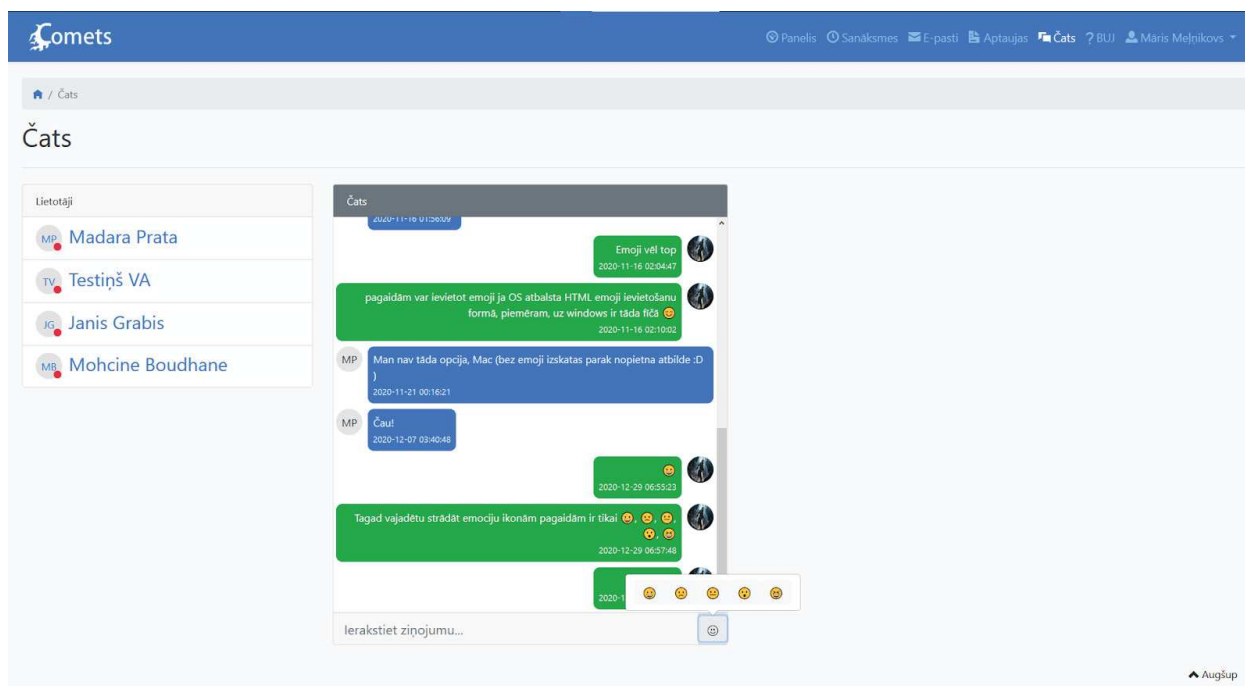
8. BUJ – Biežāku uzdoto jautājumu sadaļa

Šajā sadaļā lietotāji var aplūkot biežāk uzdotos jautājumus. Šie jautājumi ir saglabāti datubāzē un līdz ar to jautājumus viegli var pievienot, mainīt secību vai labot.



9. Čata sadaļa

Šajā sistēmas sadaļā lietotāji var komunicēt viens ar otru. Ieplānots šo sadaļu izveidot kā uznirstošo logu, kurš pieejams visās sistēmas sadaļās. Plānots pievienot emociju ikonu atbalstu. Čata funkcionalitāte ir vienkārša, lietotāji var saņemt un nosūtīt ziņas.



10. Tehniskā informācija

Sistēmas specifikācija:

- OS: Ubuntu v. 20.04.3 LTS
- WEB Serveris: Nginx v. 1.18.0
- PHP: v. 8.0.13
- Datubāze: MySQL v. 8.0.27
- SSL: Verified by Let's Encrypt
- E-pasts: Mailgun
- Ietvars: Laravel v. 8.32.1
- JQuery: v.3.5.1
- Bootstrap: v.4.5.3
- HTTP2: Enabled

Sistēmas sadaļas:

- ---- var piekļūt visi lietotāji ----
- Galvenā lapa (par projektu) – <https://www.devpage.lv>
- Pieslēgšanās lapa – <https://www.devpage.lv/login>
- Lietotāju reģistrēšana – <https://www.devpage.lv/register>
- ---- var piekļūt visi reģistrētie lietotāji ----
- Panelis – <https://www.devpage.lv/dashboard>
- Sanāksmes – <https://www.devpage.lv/meetings>
- E-pasti – <https://www.devpage.lv/emails>
- Aptaujas – <https://www.devpage.lv/surveys>
- Čats – <https://www.devpage.lv/chat>
- BUJ – <https://www.devpage.lv/faq>
- ---- katram lietotājam ir sava profila sadaļa ----
- Lietotāja profils – <https://www.devpage.lv/profile>
- ---- var piekļūt tikai administrators ----
- Lietotāju administrēšana – <https://www.devpage.lv/users>

Sistēmas drošība:



DROŠĪBA

Izstrādājot sistēmu tika pievērsta liela vērība šiem drošības faktoriem

- SSL/HTTPS & HTTP2
- CSRF – Cross-Site Request Forgery Attack
- XSS – Cross Site Scripting
- SQL Injeksijas
- Droša sesijas un autentifikācija
- Drošas platformas izvēle
- Jaunākā servera programmatūra
- Slēpti servera programmatūras versiju hedera
- Drošas paroles un SHA256 kriptēšana
- DDoS, bruteforce un spam aizsardzība
- u.c.

Observatory [mozilla](#) [Home](#) [FAQ](#) [Statistics](#) [About](#)

[HTTP Observatory](#) [TLS Observatory](#) [SSH Observatory](#) [Third-party Tests](#)

Scan Summary

A+

Host: devpage.lv
Scan ID #: 16749521 (unlisted)
Start Time: December 9, 2020 1:00 AM
Duration: 5 seconds
Score: 120/100
Tests Passed: 11/11

Recommendation

Initiate Rescan

👍👍👍 We don't have any! 👍👍👍

Make sure to check back occasionally to ensure that your website is keeping up with the latest in web security standards.

In the meantime, thanks for everything you're doing to keep the internet a safe, secure, and private place!

Test Scores

Test	Pass	Score	Reason	Info
Content Security Policy	✓	+5	Content Security Policy (CSP) implemented without 'unsafe-inline' or 'unsafe-eval'	🔗
Cookies	✓	+5	All cookies use the secure flag, session cookies use the httponly flag, and cross-origin restrictions are in place via the samesite flag	🔗
Cross-origin Resource Sharing	✓	0	Content is not visible via cross-origin resource sharing (CORS) files or headers	🔗
HTTP Public Key Pinning	–	0	HTTP Public Key Pinning (HPKP) header not implemented (optional)	🔗
HTTP Strict Transport Security	✓	0	HTTP Strict Transport Security (HSTS) header set to a minimum of six months (15768000)	🔗
Redirection	✓	0	Initial redirection is to HTTPS on same host, final destination is HTTPS	🔗

11. Kļūdu labojumi un jauni sistēmas uzlabojumi, kurus nepieciešams ieviest

1. Jāizstrādā lietotāju izvēles logs, kurš ļaus izvēlēties lietotājus e-pastu un aptauju sadaļā.
2. Jānedefinē, kad tiek nosūtīti automātiskie e-pasti.
3. Jāuzlabo aptauju rezultātu apkopošanas algoritms.
4. Čata moduli nepieciešams izveidot kā uzniestošo logu, kurš būtu pieejams no visām sistēmas sadaļām.

12. Sistēma Comets ir publicēta un pieejama brīvpieklūvē

1. Devpage.lv;
2. GIT repozitorijā <https://github.com/nlc0d3r/comets>.

Terminu definīcijas

4EM (For Enterprise Modeling)	Modelēšanas metode, kas ļauj analizēt, izpētīt un dokumentēt uzņēmumu vai uzņēmuma daļu, kā arī tā struktūras un procesus modeļu veidā (Sandkuhl et al., 2014).
ARTSS (Advanced Resilience Technologies for Secure Services)	Perspektīvās tehnoloģijas noturīgiem un drošiem servisiem (ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009, 2020).
Atbalsta vektoru mašīna (Support Vector Machine (SVM))	Šie lieli starpības atdalītāji ir pašnovērtētu mācību metožu kopums, kas paredzēts diskriminācijas un regresijas problēmu risināšanai (Yang et al., 2012).
Attālināts darbs	Noris, kad darbinieki strādā mājās vai kādā citā lokācijā, kas nav organizācijas parastā uzņēmējdarbības vieta (Kembridžas vārdnīca - https://dictionary.cambridge.org/)
AUC rādītājs (Area under the ROC curve)	Laukums zem ROC līknes. AUC var interpretēt kā pozitīvu paraugu rangu vērtēšanu. AUC ir līdzvērtīgs varbūtībai, ka nejauši izvēlētam pozitīvas klases punktam būs augstāks rezultāts pēc klasifikatora nekā nejauši izvēlētajam punktam no negatīvās klases. (Müller et al., 2016).
Bivariate (Pearson) korelācija	Šī korelācija novērtē, vai pastāv statistikas pierādījumi par lineāru saistību starp tiem pašiem mainīgo pāriem populācijā (Pearson, 1897).
Cilvēku un datoru mijiedarbība (HCI)	Disciplīna, kas koncentrējas uz interaktīvu skaitļošanas sistēmu ieviešanu cilvēku lietošanai sociālajā kontekstā un šo sistēmu projektēšanu un novērtēšanu (Ghaoui, 2006).
Datorizēts kooperatīvais darbs/Datoratbalstīta Sadarbība (CSCW - Computer Supported Cooperative Work)	Programmatūras rīki un tehnoloģijas, kas atbalsta personu grupu, kas strādā pie projektiem dažādās vietās. Tas ir balstīts uz grupas koordinācijas principu un sadarbības darbībām, kuras atbalsta datorsistēmas (Barley et al., 2004).
Digitālie dvīņi (Digital twin, DT)	1) Metodika, kas ļauj autonomiem objektiem (produktiem, mašīnām utt.) sasaistīt savu procesu un uzvedības pašreizējo stāvokli mijiedarbībā ar vidi reālajā pasaulē (Yang et al., 2017). 2) Fiziska objekta vai sistēmas dinamisku virtuālu attēlojumu visā tā dzīves ciklā, izmantojot reāllaika datus, lai gūtu iespēju saprast, mācīties un pamatot (Sandkuhl et al., 2020).
Droša komunikācija	Ar to saprotot un veicot pasākumus, kas novērš neatļautu vai ļaunprātīgu piekļuvi informācijai, tās izmantošanu, izpaušanu, apturēšanu, pārveidošanu, pārbaudi, ierakstīšanu vai iznīcināšanu. Informācijas tehnoloģiju drošības galvenā prioritāte ir līdzsvarota informācijas un datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības aizsardzība, vienlaikus nemazinot uzņēmuma produktivitāti un efektīvi

	īstenojot nepieciešamos pasākumus drošības nodrošināšanai (<i>ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009</i> , 2020).
Efektīva komunikācija	Ziņojuma nosūtīšanas process tādā veidā, lai saņemtais ziņojums pēc iespējas tuvotos paredzētajai ziņojuma jēgai. Avots: Griffin, R. (2021). <i>Fundamentals of management</i> . Cengage Learning.
Efektīva komunikāciju sistēma	Tāda, kas nodrošina tehnoloģiju (galvenokārt ierīču, programnodrošinājuma un interneta) pieejamību, izvēlēto komunikācijas rīku funkcionalitāti, darbinieku prasmēm, uzņēmuma vadības spēju reaģēt uz izmaiņām un prasmīgi organizēt komunikāciju attālinātā darba ietvaros (<i>ARTSS VPP-COVID-2020/1-0009</i> , 2020).
Informācijas un komunikāciju tehnoloģijas	Daudzveidīgs tehnoloģisko rīku un resursu kopums, ko izmanto, lai sazinātos un izveidotu, izplatītu, uzglabātu un pārvaldītu informāciju. Wojtowicz, L., Stansfield, M., Connolly, T., & Hainey, T. (2011, October). The impact of ICT and games based learning on content and language integrated learning. In <i>Proceedings of the 4th International Conference: "ICT for Language Learning (Vol. 9)</i> .
Izlases meža (Random forest) algoritms	Šis algoritms veic apmācību vairākiem lēmumu kokiem, kas apmācīti uz nedaudz atšķirīgām datu apakškopām (Liu et al., 2019).
K-tuvāko kaimiņu metode (KNN)	KNN algoritms mācību datu kopā atrod tuvākos datu punktus, tas ir "tuvākos kaimiņus", lai veiktu prognozi jaunam datu punktam (Müller et al., 2016). Lai novērtētu izvadi asociētu ar jaunu ievadi, KNN metode ņem vērā k apmācības paraugus, kuru ievade ir vistuvāk jaunajai ieejai x, atbilstoši attālumam, kurš tiek definēts (Lu et al., 2015).
Kiberfiziskās sistēmas (cyber-physical systems, CPS)	Attiecas uz jaunas paaudzes sistēmām ar integrētām skaitļošanas un fiziskajām iespējām, kas reālā laikā var mijiedarboties savā starpā un ar cilvēkiem, izmantojot jaunas modalitātes (Baheti et al., 2011).
Koena (Cohen) standarts -	Korelācijas koeficienta novērtēšanas standarts, kur 0,50 vai lielāks ir spēcīga saistība (Cohen, 1988).
Komunikācija	Komunikācija ir transakcija, kurā tās dalībnieki kopīgi rada nozīmi ar simbolu palīdzību. Avots: Fielding, M. (2006). <i>Effective communication in organisations</i> . Juta and Company Ltd.
Komunikācijas struktūra/tīkls	Komunikāciju tīkls organizācijas dalībnieku vidē parāda iespējamās informācijas mijiedarbības veidus (Bavelas, 1950).
Komunikāciju tehnoloģijas	Tādu elektronisko ierīču kā datori, tālruni, internets un satelītu sistēmas izmantošanu, lai uzglabātu, izgūtu un izplatīt informāciju datu, teksta attēla un citu veidā. Avots: Afolabi, A.F., & Abidoye, J.A. (2011). Integration of information and communication technology in library operations towards effective library services. <i>Journal of Educational and Social Research</i> , 1, 113–120.

Lēmumu/klasifikācijas koki (decision trees, CART - Classification And Regression Trees)	Plaši izmantoti klasifikācijas un regresijas uzdevumu modeļi, ko izmanto klasificēšanai, kārtojot, pamatojoties uz pazīmju vērtībām (Alao et al., 2013).
Lielie dati	Nepārtraukta liela apjoma datu glabāšana un apstrāde. Ar datiem pamatota lēmumu pieņemšana. (Dutcher, 2014)
Lineārie modeļi	Regresijas modeļi, kuriem prognoze ir viena objekta līnija, plakne, ja izmantojat divas pazīmes, vai hiperplakne augstākās dimensijās (tas ir, ja tām ir vairāk pazīmju). (Müller et al., 2016).
Loģistiskā regresija	Algoritms, kas ļauj iepriekš noteikt/izskaidrot kvalitatīvā mērķa mainīgā vērtības (visbiežāk bināras, ja tai ir vairāk nekā divas modalitātes, tad tā ir multinomiālā loģistiskā regresija) no kvantitatīvo vai kvalitatīvo skaidrojošo mainīgo kopuma (Gutiérrez et al., 2010).
Mākslīgais intelekts (AI)	Datorprogrammas spēja pildīt funkcijas, kas parasti asociējas ar cilvēka intelektuālo darbību (datu analīze, lēmumu pieņemšana u. c.). Avots: Ekonomikas skaidrojošā vārdnīca. R.: Zinātne, 2000.
Mašīnmācīšanās algoritmi	Zināšanu iegūšana no datiem. Tas ir izpētes lauks statistikas, mākslīgā intelekta un datorzinātņu krustojumā, kas ir pazīstams arī kā prediktīvā analīze vai statistiskā mācīšanās (Müller et al., 2016).
Modelis	Vispārinātu realitātes vai realitātes daļas attēlojumu, modelējot tiek ņemtas vērā tikai būtiskās reālās pasaules īpašības (Stachowiak, 1973).
Naivā Beisa (Gaussian NB-Naive Bayes Classifier) klasifikatori	Tas veic klasifikāciju, pamatojoties uz varbūtībām ar nosacījumu (pieņēmumu), ka šie mainīgie ir nosacīti neatkarīgi viens no otra (Punnoose et al., 2016). Tiek apgūti parametri, aplūkojot katru funkciju atsevišķi, un no katras funkcijas tiek apkopota vienkārša statistika par klasi (Müller et al., 2016).
Neuzraudzīti algoritmi	Neuzraudzītas transformācijas datu kopas ir algoritmi, kas rada jaunu datu atspoguļojumu, kas cilvēkiem vai citiem mašīnmācīšanās algoritmiem varētu būt vieglāk saprotams (Müller et al., 2016).
Personāla mainība (employee turnover/attrition)	Individuālu darba attiecību izbeigšana ar uzņēmumu. Zinātnieki un personāla vadītāji uzskata, ka personāla mainība ir galvenokārt saistīta ar darbinieku iniciatīvu atstāt uzņēmumu. Avots: Peiseniece, L. (2011). Cilvēkresursu vadīšanas novērtēšanas metodes un to pilnveidošanas virzieni Latvijas lielajos uzņēmumos.
ROC rādītājs (The Receiver Operator Characteristic)	ROC līkne ir binārā klasifikācijas problēmu novērtēšanas metrika, kas ņem vērā visus iespējamus sliekšņus konkrētam klasifikatoram, taču tā vietā, lai ziņotu par precizitāti un atsaukšanu, tā parāda nepatiesi pozitīvu likmi (FPR) salīdzinājumā ar patieso pozitīvo rādītāju (TPR) (Müller et al., 2016).

Sociotehniskas sistēmas	Sistēmas, kuras ietver kompleksu mijiedarbību starp cilvēku, mašīnu un vides aspektiem darba sistēmā (Baxter et al., 2011).
Uzņēmumu modelēšana (enterprise modeling, EM)	Uzņēmumu modelēšanas joma kopumā ir saistīta ar metodēm un rīkiem organizāciju modelēšanai un potenciālo uzlabojumu atrašanai un sagatavošanai (Sandkuhl et al., 2014).
Uzraudzīti mācīšanās algoritmi	Uzraudzīta mācīšanās tiek izmantota ikreiz, kad ir vēlme paredzēt noteiktu rezultātu no konkrētā ieguldījuma, un ir piemēri ievades un izvades pāriem (Müller et al., 2016).
Virtuālā komanda	Virtuālās komandas sastāv no divām vai vairākām personām, kas sadarbojas interaktīvi, lai sasniegtu kopīgus mērķus, savukārt vismaz viens no komandas locekļiem strādā citā vietā, organizācijā vai citā laikā, lai komunikācija un koordinācija pārsvarā balstītos uz elektronisko saziņas līdzekļu starpniecību (e-pasts, fakss, tālrunis, videokonference utt.). (Hartel et al., 2005)