

ŠALTOSIOS TIEKIMO GRANDINĖS ORGANIZAVIMO YPATUMAI: TEORINIAI ASPEKTAI

Kęstutis PLANČIŪNAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas, el. paštas: kestutis.planciunas@vdu.lt

Santrauka

Temperatūrinio režimo reikalaujančių krovinių tiekimo grandinė yra kritškai svarbi logistikos verslo šakos dalis. Maisto, vaistų, cheminių medžiagų ir daugelio kitų prekių tiekime yra itin svarbus tinkamos temperatūros režimo palaikymas, kad produktai pasiektų vartotoją tinkamos kokybės ir saugūs. Šis procesas įvardinamas šaltosios tiekimo grandinės procesu. Šaltosios tiekimo grandinės pagrindinis tikslas yra užtikrinti tinkamą temperatūros režimą transportuojamam kroviniui nuo gamintojo iki galutinio vartotojo. Didėjant temperatūrinio režimo reikalaujančių prekių/produktų pervežimo apimtims, susiduriama su temperatūros užtikrinimo iššūkiais, nes tinkamą temperatūrą svarbu užtikrinti skirtingose tiekimo grandinės dalyse – gamybos, sandėliavimo ir transportavimo procesuose. Straipsnio tikslas – atskleisti šaltosios tiekimo grandinės organizavimo ypatumus. Atlikus mokslinės literatūros šaltinių analizę nustatyta, kad šaltosios tiekimo grandinės organizavimo efektyvumui didinti dažniausiai naudojama daiktų interneto technologija (IoT), bevielio jutiklių tinklo (WSN) technologija ir radio bangų identifikavimo (RFID) technologija.

Reikšminiai žodžiai: tiekimo grandinė, temperatūrinis režimas, šaltoji grandinė, WSN, IoT, RFID.

Įvadas

Temperatūrai jautrių produktų tiekimas yra itin svarbi kasdieninio gyvenimo dalis, be kurios sunkiai įsivaizduojama žmogaus kasdienybė. Įvairūs maisto produktai, vaistai, chemija ir kiti produktai dažnu atveju privalo būti tiekami laikantis tinkamų temperatūros režimų. Kylant temperatūrinio režimo reikalaujančių prekių transportavimo kiekiams visame pasaulyje kyla iššūkių siekiant patenkinti šią paklausą. Ši tiekimo grandinė yra vadinama šaltosios tiekimo grandinės (angl. cold-chain) procesu, kuomet temperatūra privalo būti išlaikyta nustatytose ribose nuo gamintojo iki galutinio vartotojo. Autoriai K. Wang ir N. Du (2025) tvirtina, kad šaltoji tiekimo grandinė užima itin svarbų vaidmenį modernios logistikos kontekste. Nenutrūkstamas temperatūros išlaikymas nuo gamintojo iki galutinio vartotojo užtikrina tinkamą produktų kokybę ir jų vartojimo saugumą. Esant temperatūros svyravimams šaltosios tiekimo grandinės procesų metu išauga rizika, kad produktas galutinį klientą pasieks sugadintas ar nesaugus vartojimui, kas gali sukelti sveikatos sutrikimus produktų vartotojui. Įvairūs aplinkos veiksniai, kelių eismo spūstys, oro sąlygos ir gedimai apsunkina temperatūrai jautrių produktų transportavimo procesą, kurioje realiu laiku gaunami duomenys padeda priimti tiksliausius sprendimus. Šaltojoje tiekimo grandinėje yra gausu vykdomų procesų ir kylančių iššūkių, kuriems vykdyti bei spręsti yra naudojamos išmaniosios, intelektualios technologijos siekiant užtikrinti, kad šaltosios tiekimo grandinės sąlygos būtų išpildytos. Moderniuose šaltosios tiekimo grandinės procesuose intelektualios technologijos yra vis dažniau diegiamos ir taikomos įmonėse, tokiu būdu siekiama optimizuoti šaltosios tiekimo grandinės procesus, didinti jų efektyvumą bei mažinti tiekimo kaštus.

Tyrimo tikslas – atskleisti šaltosios tiekimo grandinės organizavimo ypatumus.

Tiksliui pasiekti yra sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atskleisti šaltosios tiekimo grandinės esmę ir pagrindinius etapus.
2. Pateikti išmaniųjų technologijų taikymo sprendimus šaltosios tiekimo grandinės procesuose.

Tyrimų objektas ir metodai

Išsikeltam tyrimo tikslui pasiekti pasirinktas sisteminės literatūros apžvalgos metodas. Šiam tyrimui atlikti buvo analizuojami išskirtinai mokslinės literatūros straipsniai nesenėsi nei 11 metų, nuo 2015 iki 2026 metų. Šis laikotarpis buvo pasirinktas tam, kad gauti tyrimo duomenys būtų aktualūs ir šiomis dienomis. Mokslinės literatūros straipsniams surasti buvo naudojamos didžiausios mokslinių straipsnių platformos, tokios kaip: „Research Gate“, „Science Direct“, „MDPI“ ir „Springer“, siekiant užtikrinti temų ir autorių įvairovę. Atliekant straipsnių paiešką buvo surasta 40 mokslinių straipsnių, iš kurių 19 atrinkų buvo detalai išanalizuoti. 21 likęs mokslinis straipsnis neatitiko nagrinėjamos temos, nepaisant raktinių žodžių jų pavadinimuose. Analizė buvo atliekama nagrinėjant skirtingų autorių publikuotus mokslinius straipsnius iš skirtingų interneto puslapių tam, kad būtų galima atskleisti esminius šaltosios tiekimo grandinės veiksmus iš skirtingų perspektyvų. Straipsniai buvo randami paieškos laukelyje įvedus šias žodžių kombinacijas: „cold-chain“, „cold-chain management“, „cold-chain logistics“, „IoT cold-chain“, „WSN cold-chain“, „RFID cold-chain“. Turinio analizės, apibendrinimo metodai buvo naudoti siekiant atliepti iškeltą darbo tikslą.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Šaltoji grandinė (angl. cold-chain) yra tiekimo sistema, kurios pagrindinis tikslas yra išlaikyti tinkamas sąlygas, temperatūrą ir drėgmę visuose tiekimo grandinės etapuose nuo gamintojo, sandėliavimo, transportavimo iki paskirstymo. Ši tiekimo grandinė dažniausiai yra naudojama produktams, kurie reikalauja nurodyto temperatūrinio režimo kaip, pavyzdžiui, maisto produktai, vaistiniai preparatai, cheminiai produktai ar net kosmetika (Niu et al., 2024).

Šaltosios tiekimo grandinės logistika ir valdymas apima sudėtingus taikymo metodus, kurie užtikrina tinkamą greitai gendančių produktų išsaugojimą, kokybę ir saugumą tiekimo metu. Ši daugialypė sistema apima įvairius strateginius infrastruktūros sprendimus, suinteresuotų šalių įsitraukimą ir vertės bei našumo didinimą visoje tiekimo grandinėje. Pagrindinis šaltosios tiekimo grandinės tikslas yra išlaikyti tinkamą temperatūrą sandėliavimo ir transportavimo metu. Tokiu būdu užtikrinant, kad produktai galutinius vartotojus pasiektų laikantis aukščiausių kokybės ir saugos standartų. Šaltosios tiekimo grandinės logistika yra kur kas sudėtingesnė nei įprasta tiekimo sistema. Ji aprėpia transportavimą, sandėliavimą ir paskirstymą. Tai yra kertiniai veiksniai norint išsaugoti greitai gendančių produktų kokybę visuose tiekimo grandinės etapuose (Mustafa et al., 2024).

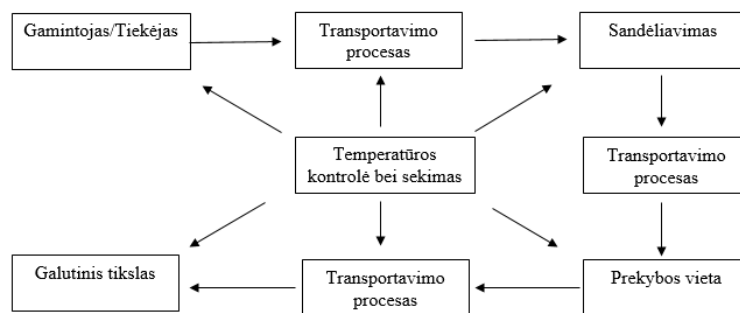
1 lentelė. Temperatūros režimai skirtingų krovinių tipams (sudaryta autoriaus pagal Iyer ir Robb, 2025).

Table 1. Temperature regimes for various cargo types (source: complied by the author based on Iyer and Robb, 2025).

Produktas	Temperatūros režimas
Šaltasis vėsinimas (mėsa)	0 °C
Vidutinis vėsinimas (pieno produktai)	+5 °C
Egzotinis vėsinimas (vaisiai bei daržovės)	+10/+15 °C
Šaldymas (šaldyta produkcija)	-18 °C
Gilusis šaldymas (vakcinos)	-70 °C

Šaltosios tiekimo grandinės logistika – greitai gendančių produktų, tokių kaip: žemės ūkio produktai, pvz., mėsa ir pieno produktai, kurie privalo išlikti žemos temperatūros aplinkoje (Chen, 2020). Autoriai T. Ren ir kt. (2022) antrina, kad pagrindinis šaltosios tiekimo grandinės uždavinys yra tinkamai išlaikyta temperatūra nustatytose normose, dažniausi kroviniai yra greitai gendantys produktai bei vaistiniai preparatai. Autoriai K. Wang ir N. Du (2025) papildo, kad šaltosios tiekimo grandinės logistika yra ypatingai svarbus komponentas modernios logistikos kontekste, ypač transportavimo ir sandėliavimo procesuose jautriems temperatūros režimams produktams, tokiems kaip maisto produktai ar vaistiniai preparatai. Nenutrūkstanti šaltoji grandinė yra kritinė dalis siekiant saugiai pristatyti produktus palaikant temperatūrą ir drėgmę nustatytose ribose nuo gamintojo iki kliento siekiant išsaugoti aukščiausią kokybę. Nuoseklus šaltosios tiekimo grandinės logistikos procesų stebėjimas yra ypatingai svarbi dalis, kadangi tiekiamos prekės šaltosios grandinės principu yra linkusios sugesti ar prarasti maistines savybes jeigu nesilaikoma nurodytų reikalavimų. Svarbu suvokti, kad šaltoji tiekimo grandinė yra priklausoma nuo daugelio suinteresuotų šalių pobūdžio, geografinės padėties bei priklausomybės nuo esančios infrastruktūros, kurios gali sukelti įvairius sutrikimus bei nepakankamą efektyvumą. Šie veiklos sutrikimai yra vadinami šaltosios tiekimo grandinės logistikos rizikomis, kurios gali atsirasti dėl žmogiškų klaidų, prietaisų ir įrangos gedimų, klimato sąlygų, valdymo bei išorinių problemų, kurios paverčia šaltąją grandinę kompleksiška bei trapią. Šios rizikos gali sukelti didelius nuostolius finansine prasme dėl produkto sugadinimo, suprastėjusios kokybės ir saugumo. Svarbu atsižvelgti, kad šaltosios tiekimo grandinės vykdymo procese sunaudojama itin daug energijos. Tai kenkia aplinkai, kadangi yra išmetama daugiau anglies dvideginio į aplinką. Didelis energijos suvartojimas ne tik didina procesų kaštus, bet ir palieka didelį emisijų pėdsaką (Jaelani et al., 2025). Nors tvarumo aspektas jau daugelį metų yra šaltosios tiekimo grandinės tyrimų epicentre, tačiau pasirenkamos šaldymo sistemos, kurios sudaro nemenką išmetamų teršalų dalį šaltosios tiekimo grandinės procese, negauna pakankamai dėmesio tiriant jų poveikį aplinkai (Ascanio et al., 2026). Tiekimo grandinės tvarumas yra naujas etapas, kurio taikymas tiekimo procesuose pradėtas naudoti dar visai neseniai. Tvarumo taikymo sprendimas šaltosios grandinės logistikos procesuose padeda sumažinti nereikalingus procesus, taip sumažindami kaštus bei energijos suvartojimą, kas prisideda prie aplinkos taršos mažinimo. Tai suteikia lankstumo, kai įmonės gali priimti sprendimus siekiant išspręsti tiekimo problemas ir pasiekti tvarumo užsibrėžtus tikslus (Jaelani et al., 2025).

Šaltosios grandinės valdymo esmė yra išlaikyti tinkamą temperatūros režimo palaikymą iki tol, kol produktas pasiekis galutinį vartotoją. Pagrindinis šios tiekimo grandinės tikslas yra užtikrinti greitai gendančių produktų kokybę tam, kad pasiekus prekybos tinklus, produktas būtų saugus vartojimui. Temperatūros kontrolė yra vienas ir pats svarbiausias veiksnys siekiant prailginti produkto galiojimo laiką. Net iš pažiūros nedideli temperatūros nukrypimai keliais laipsniais nuo nustatyto temperatūrinio režimo gali lemti produkto sugedimą, kas gali lemti vartotojo sveiktos sutrikimus. Todėl yra itin svarbu užtikrinti tinkamą temperatūros sekimą viso šaltosios grandinės valdymo metu (Aung, Chang, 2023).



1 pav. Temperatūros kontrolė bei sekimas šaltojoje tiekimo grandinėje (sudaryta autoriaus pagal Aung ir Chang, 2023)
Fig. 1. Temperature control and tracking in the cold supply chain (source: compiled by the author based on Aung and Chang, 2023)

Pagal autorius M. M. Aung ir S. Y. Chang (2023) sudarytame 1 paveiksle galima daryti išvadą, kad temperatūros sekimas ir kontrolė yra kritiškai svarbus veiksnys, kuris yra privalomas visuose šaltosios tiekimo grandinės procesų etapuose.

Paskirstymas, šaltosios tiekimo grandinės procesų kontekste užima itin svarbų vaidmenį, kuris užima daugiau nei 80 % laiko temperatūrinio režimo reikalaujančių produktų pristatymui nuo gamintojų iki galutinių vartotojų. Šaltosios tiekimo grandinės paskirstymo logistika apima greitai gendančių, žemės ūkio produktų ar vaistinių preparatų tiekimą į prekybos tinklus skirtingose vietose siekiant mažinti transportavimo kaštus ir laiką. Paskirstymo vykdymas užima svarbų vaidmenį šaltosios tiekimo grandinės procese, kuris ne tik daro įtaką kliento aptarnavimo srityje, tačiau ir logistikos procesų kaštuose bei pristatomų produktų kokybės atžvilgiu (Xu et al., 2023).

Šaltosios tiekimo grandinės logistika užima kritinę rolę produktų tiekimo grandinėje, kuri užtikrina tinkamą greitai gendančių produktų išsaugojimą nuo gamintojo iki galutinio vartotojo. Šaltosios grandinės logistikos (angl. cold chain) svarba kartu išaugo dėl stiprios šviežių maisto produktų, vaistų ir kitų temperatūrai jautrių gaminių tiekimo paklausos pasauliniu mastu. Šios tiekimo grandinės prognozuojami algoritmai, duomenų analizės bei optimizavimo būdai atvėrė naujas tobulėjimo galimybes sprendimų priėmimo, atliekų mažinimo ir produkto kokybės išsaugojimo aspektu. Šaltosios tiekimo grandinės logistika sprendžia ne tik technologinę, bet ir strateginę problemą, kuri apima verslo sprendimus, konkurencingumą ir investicijų pelningumą. Tai yra svarbus aspektas, kadangi tai tiesiogiai daro įtaką planavimo algoritmams, strateginiams pasirinkimams, investicijoms ir kt. (Shi et al., 2024).

Šaltosios tiekimo grandinės logistikos subtilybės apima kruopštų analizavimą ir organizavimą, pabrėždami transportavimo efektyvumą, sandėliavimo kaštus, infrastruktūrą, klientų aptarnavimą, taip pat patikimumą ir valdymą, kurie yra esminiai veiksniai šaltosios tiekimo grandinės vientisumui palaikyti. Temperatūros palaikymas atvėsintiems produktams, tokie kaip: mėsa, pieno produktai, žuvis, vaisiai ir daržovės užima svarbų vaidmenį siekiant sumažinti maisto švaistymą. Diegiamos technologijos RFID ir WSN sistemos didina šaltosios tiekimo grandinės logistikos atsekamumą, kas iš esmės užtikrina kokybę ir veiklos vykdymo efektyvumą. Šios inovacijos yra pagrindinis aspektas siekiant užtikrinti, kad greitai gendantys produktai rinką pasiektų aukščiausios kokybės numatytu laiku. Svarbu paminėti, kad šaltosios grandinės logistikos strategijos vis tobulėja tam, kad būtų galima užtikrinti kokybę ir saugumą kiekviename tiekimo grandinės etape (Mustafa et al., 2024). Tinklo technologijos turi išskirtinį būdą perduoti informaciją tarp kliento ir logistikos paslaugų tiekėjo. Tačiau kyla problemų, kai reikalinga informacija realiu laiku tarp informacijos ir krovinių logistikos srauto. Daiktų internetas (ang. „Internet of things“) užima itin svarbų vaidmenį, kuriuo naudojantis galima stebėti aplinką ir priimti šaltosios tiekimo grandinės sprendimus. Rodiklių duomenys realiu laiku yra renkami bevielių jutiklių tinklu (ang. Wireless sensor network, WSN) bei siunčiami apdorojimui į serverius, tokiu būdu stebint greitai gendančių produktų tiekimą šaltojoje tiekimo grandinėje (Cil et al., 2022). Remiantis autorių pateiktomis įžvalgomis galima teigti, kad technologijų taikymas šaltojoje tiekimo grandinėje yra itin svarbus siekiant užtikrinti veiklos procesus. Dėl technologinių sprendimų šaltoji tiekimo grandinė tampa efektyvesnė, kadangi duomenys yra gaunami realiu laiku per visus šaltosios tiekimo grandinės etapus.

Apibendrinant galima teigti, kad šaltoji tiekimo grandinė yra sudėtingas ir kompleksinis transportavimo procesas, kurio etapuose tinkamos temperatūros užtikrinimas yra viena pagrindinių sąlygų. Siekiant užtikrinti reikiamą temperatūrą viso proceso metu, išauga tiekimo kaštai. Be to, vis daugiau diskusijų kelia šios tiekimo grandinės neigiamas poveikis aplinkai. Reikiamo temperatūrinio režimo palaikymas reikalauja daugiau kontrolės. Tuo tikslu naudojami inovatyvūs sprendimai, tokie kaip RFID ir WSN sistemos, kurios siekia mažinti temperatūros svyravimus, tiekimo kaštus, tuo pačiu didinant procesų efektyvumą ir mažinant neigiamą poveikį aplinkai.

Išmaniosios technologijos bei jų tipai

Atlikus mokslinės literatūros analizę nustatyti dažniausiai naudojami technologiniai sprendimai šaltosios tiekimo grandinės organizavimo efektyvumui didinti: IoT (ang. Internet of things) technologija, WSN (ang. Wireless sensor network) technologija ir RFID (ang. Radio frequency identification) technologija.

Daiktų internetas (ang. Internet of things - IoT). Daiktų internetas (IoT) pastaraisiais metais tapo viena iš pagrindinių inovatyvių sprendimų, kurio pritaikymas yra ypatingai platus. Ši technologija yra plačiai naudojama ne tik gamyboje, tačiau ir žemės ūkyje, švietimo, saugumo ir transporto sektoriuose. Daiktų interneto (IoT) prietaisai, tokie kaip davikliai ar pavaros yra naudojami gamyboje siekiant stebėti įrangos veikimo rodiklius, sekti žaliavų išteklius sandėliuose

realiu laiku, optimizuoti tiekimo grandinės ir numatyti atitinkamus priežiūros darbus. Ši technologija padeda sumažinti prastovas, padidinti gamybos efektyvumą bei sumažinti veiklos kaštus. Šios technologijos universalumas įvairiuose sektoriuose daiktų internetą (IoT) pavertė sudėtingu tinklu, dėl kurio komunikuoja su įvairiais prietaisais ir skirtingais valdymo protokolais. Šiai problemai spręsti buvo sukurta daugelis architektūrų, tinklų standartų tam, kad būtų galima užtikrinti prietaisų ir įrenginių sąveikumą. 2023 m. publikuotame „Statista“ tyrime nurodoma, kad daiktų internetas (IoT) viršija 15 milijardų prisijungusių įrenginių bei prietaisų visame pasaulyje. Remiantis šių skaičių augimu nuo 2019 iki 2023 m., manoma, šis skaičius padidės iki 30 milijardų iki 2030 m. (Dauda et al., 2024).

Sparčiai besivystanti daiktų interneto (IoT) technologija plačiai atvėrė duris naujomis galimybėmis modernizuoti šaltosios tiekimo grandinės logistiką. Koordinuotas pritaikymas per svarbiausius šaltosios tiekimo grandinės komponentus, tokius kaip: jutiklius, bevielį ryšį, duomenų apdorojimą bei debesies kompiuteriją, realaus laiko sekimą ir duomenų apdorojimo galimybes gerokai patobulėjo šaltosios tiekimo grandinės logistikoje. Įmdami jutiklių technologiją (RFID) integruoti temperatūros ir drėgmės jutikliai gali dinamiškai aptikti pakitimus transportavimo bei sandėliavimo aplinkoje, kas iš esmės suteikia tikslius duomenis šaltosios tiekimo grandinės sistemai. Tikslus šaltosios tiekimo grandinės rodiklių stebėjimas paremtas (RFID) technologija, žymiai padidina efektyvumą, tikslumą ir stabilumą aplinkos (temperatūros, drėgmės, užterštumo, vibracijos) rodiklių rinkimo prasme (Wang, Du, 2025).

Realaus laiko aplinkos rodiklių stebėjimas ir kontrolė yra itin svarbūs veiksniai siekiant išlaikyti kokybę bei saugumą ir įvertinti rizikas greitai gendančių produktų šaltosios grandinės tiekimo metu. Per paskutiniuosius metus daiktų interneto (IoT) technologijos buvo itin plačiai taikomos maisto pramonėje, suteikiant efektyvų realaus laiko rodiklių stebėjimą. Išmanieji prietaisai, įrenginiai, jutikliai ir belaidis ryšys suteikia automatizuotą maisto produktų aplinką, kokybės kaitą suteikdami pranešimus, dėl kurių būtų užkertamas kelias kokybei suprastėti. Pažengęs mikroelektronikos sektorius sumažina jutiklių kainas ir energijos suvartojimą, tokiu būdu padarydamas temperatūros, drėgmės, šviesos, vibracijų, anglies dvideginio rodiklių stebėjimą. Daiktų internetas (IoT) leidžia dinamiškai valdyti tiekimo grandinę padedant įmonėms tiekti greitai gendančius produktus, tvarkytis su tiekimo sutrikimais ir griežtais maisto saugumo bei aplinkosauginiais reikalavimais (Gillespie et al., 2023).

Bevielis jutiklių tinklas (ang. *Wireless sensor network* – WSN). Bevielų jutiklių tinklas (WSN) yra itin daug žadanti technologija greitai gendančio maisto tiekimo grandinės valdyme, kadangi ji gali suteikti informaciją realiu laiku itin greitai ir už prieinamą kainą. Jutiklių tinklas gali būti sukurtas visai nedidelis tam, kad net galėtų būti sumontuotas greitai gendančių maisto produktų pakuotėse, tokiu būdu gali būti kontroliuojami visoje tiekimo grandinėje. Esant stipriam mikroelektronikos technologijų proveržiui šios (WSN) technologijos energijos suvartojimas ir jutiklių kaina stipriai sumažėjo per paskutiniuosius keletą metų. Su tinkamu pritaikymu (WSN) jutikliai gali būti naudojami rinkti įvairius aplinkos duomenis, kurie yra susiję su greitai gendančių maisto produktų kokybės išsaugojimu bei saugumu. Temperatūra, drėgmė, anglies dvideginis ar net vibracijos gali būti sekamos naudojantis šia technologija (Wang et al. 2015).

Bevielis jutiklių tinklas yra daugiažingsnė save organizuojanti tinklo sistema, kuri susidaro iš itin didelio skaičiaus jutiklių pasirinktoje vietoje, kurie komunikuoju tarpusavyje. Tai yra svarbi technologinė forma, kuri kilo iš daiktų interneto (IoT) tinklo. Bevielio jutiklių tinklo tikslas yra perduoti duomenis tarpusavyje, kaupti ir apdoroti informaciją vykdant nurodytas užduotis nurodytoje vietoje. Sparčiai vystantis jutiklių, bevielio komunikavimo bei mikroelektronikos technologijomis bevielis jutiklių tinklas (WSN) palaipsniui leido vartotojams gauti prieigą prie aplinkos bet kurioje vietoje bet kuriuo metu. Dėl saviorganizavimo, paprasto diegimo bei patikimumo ši technologija puikiai tinkama aplinkos rodiklių stebėjimui, medicinos, karo aplinkos sektoriuose ir sekime (Jiang et al. 2020). Bevielio jutiklių tinklo stebėjimo prietaisai ir įrenginiai yra sukurti taip, kad teiktų nuolatinį informacijos srautą, prieinamą visuose šaltosios tiekimo grandinės procesų etapuose. Jų sėkmė slypi nuotolinėse veikimo galimybėse, mažame energijos suvartojime, patikimume ir universalume. Taip pat svarbu paminėti, kad bevielio tinklo technologija (WSN) ir (RFID) technologija demonstruoja geriausius rezultatus veikdami kartu (Melis-Badia et al., 2018). Remiantis autorių analize apie bevielį jutiklių tinklą (WSN) galima teigti, kad ši technologija leidžia šaltosios tiekimo grandinės procesus vykdyti efektyviau ir tiksliau. Temperatūros sekimas ir kontrolė yra pagrindinis bei kritinis veiksnys, kuris užtikrina, kad temperatūrinio režimo reikalaujančios prekės pasiektų vartotoją tinkamos kokybės bei saugios vartojimui. Šios technologijos universalumas ir mikroelektronikos sirties proveržis leidžia taikyti šią technologiją šaltojoje tiekimo grandinėje didinant efektyvumą ir mažesniais įgyvendinimo kaštais.

Radijo bangų identifikacijos technologija (ang. *Radio frequency identification* - RFID). Radijo bangų identifikacijos (RFID) technologija yra itin plačiai naudojama mažmeninėje prekyboje, šios sistemos pritaikymas yra itin platus ir nuolat kintantis. Tai yra bevielio ryšio technologija, kuri naudojama duomenims, susijusiems su įvairiais identifikavimo požymiais rinkti, tokiems kaip: pirkimo data, serijos ir partijos numeris ar net galiojimo terminas. Skirtingai nei tradiciniai bei universalūs brūkšniniai kodai, šios technologijos privalumas yra tai, kad jiems nereikia tiesioginės matymo linijos tam, kad juos būtų galima nuskaityti. Šiuolaikinė (RFID) technologija yra skirstoma į du segmentus, pasyviąją ir aktyviąją sistemas. Pagrindinis skirtumas yra tai, kad aktyvioji sistema naudoja energijos šaltinį (baterijas), pasyvioji to neturi. Pasyvioji (RFID) sistema veikia aukštu radijo bangų dažnio principu, kuri yra itin plačiai naudojama tiekimo grandinės produktų sekimui (Crooks, Haddud, 2025). Šaltosios tiekimo grandinės etapuose temperatūros kontrolė ir produkto kokybė yra išskirtinai išskiriami, kaip esminiai šaltosios tiekimo grandinės aspektai. Viena iš pagrindinių idėjų yra pereiti nuo periodinių patikrinimų iki nuolatinio rodiklių sekimo naudojant (RFID) ir (IoT) jutiklius bei duomenų kaupiklius. Šios technologijos gerokai padidina produkto rodiklių skaidrumą, kaip temperatūra ir drėgmė. Esant neatitikimams galima greitai reaguoti siekiant užkirsti kelią produkto kokybės suprastėjimui. Atlikti tyrimai rodo, kad (RFID) technologija gerokai padidina realaus laiko temperatūros stebėjimo ir sekimo efektyvumą, tuo

tarpu daiktų interneto (IoT) integruotos technologijos padeda stebėti ir rinkti rodiklius visuose šaltosios tiekimo grandinės etapuose bei procesuose (Alherimi, Daya, 2025). Autoriai S. S. M. F. M. Mustafa ir kt. (2024) antrina, kad maisto produktų, tokių kaip mėsa, pieno produktai, žuvis, daržovės ir vaisiai šaltosios tiekimo grandinės procesų vykdyme svarbiausias aspektas yra tinkamas temperatūros palaikymas siekiant išvengti produktų sugadinimo. Technologinių (RFID) ir (WSN) sistemų proveržis papildo šaltąją maisto tiekimo grandinę efektyvesniu kritinių rodiklių sekimu, kokybės užtikrinimu bei efektyvesniu tiekimo procesų vykdymu. Šios inovacijos yra itin svarbios siekiant užtikrinti, kad greitai gendantys produktai būtų laikomi reikalingose sąlygose tam, kad į parduotuvių tinklus atvyktų aukštos kokybės ir numatyto laiku. Šaltosios tiekimo grandinės strategijos, šaldymo ir vykdymo aspektais ir toliau tobulinamos tam, kad būtų visos rizikos tiekimo proceso metu.

Galima teigti, kad šie technologiniai sprendimai iš esmės padidina šaltosios tiekimo grandinės procesų efektyvumą. Tinkamas temperatūros palaikymas, kontrolė ir realiu laiku gaunami duomenys suteikia galimybę operatoriams greitai reaguoti į įvykius neatitiktikimus bet kuriame šaltosios tiekimo grandinės etape. Norint gauti geriausią rezultatą, rekomenduojama šias sistemas taikyti kartu, tai leidžia užtikrinti transportavimo proceso skaidrumą, efektyvumą visuose šaltosios tiekimo grandinės proceso etapuose.

Išvados

1. Tinkama temperatūra ir drėgmė yra kritiškai svarbūs veiksniai maisto, vaistinių preparatų ir kitų produktų tiekime. Neužtikrinus tinkamos temperatūros kyla rizika, kad produktai iki galutinio vartotojo pasieks prastos kokybės ar net visai sugadintos. Esant kompleksiskai sistemai šaltoji tiekimo grandinė apima prekių transportavimą tinkamame temperatūriname režime nuo gamintojo iki galutinio vartotojo.

2. Temperatūriniam režimui, tinkamai drėgmei užtikrinti yra naudojamos pažangios rodiklių sekimo sistemos siekiant išlaikyti tinkamą produktų kokybę ir prekių saugumą, tokios kaip daiktų internetas (IoT), bevielės jutiklių tinklas (WSN) ir radijo bangų atpažinimas (RFID). Išmaniosios technologijos yra kritiškai svarbios siekiant užtikrinti temperatūros, drėgmės bei vibracijos rodiklių sekimą visuose šaltosios tiekimo grandinės etapuose. Šios technologijos suteikia aplinkos rodiklių duomenis iš skirtingų šaltosios tiekimo grandinės procesų etapų perspektyvų. Realio laiku gaunami duomenys yra apdorojami ir atsiradus neatitiktikimams siunčiami pranešimai. Tokiu būdu operatoriams sukuriamą galimybę nedelsiant reaguoti ir užkirsti kelią tolimesniems nukrypimams. Tai padidina visos šaltosios tiekimo grandinės efektyvumą ir skaidrumą, kadangi duomenys yra gaunami realiu laiku.

Literatūra

1. Alherimi, N., Daya-Ben, M., (2025). A Systematic Review on the Intersection of the Cold Chain and Digital Transformation. *Sustainability*, 17(24), 11202. Doi.org/10.3390/su172411202
2. Aung, M., M., Chang, S., Y. (2023) Cold chain management. *Switzerland: Springer series in advanced manufacturing*. Doi.org/10.1007/978-3-031-09567-2
3. Ascanio, A., R., Prozorova, E., Meyer, D., A., Gevaers, R., Guisson, R., Dewulf, W., (2026). Environmental and social assessment of transport and cooling systems in last-mile cold-chain vaccine distribution: A case study in Flanders, Belgium. *Research in Transportation Economics*, Vol. 115, 101693, doi.org/10.1016/j.retrec.2025.101693
4. Chen, Y., (2020). Intelligent algorithms for cold chain logistics distribution optimization based on big data cloud computing analysis. *Journal of Cloud Computing*, Vol. 9, 37. Doi.org/10.1186/s13677-020-00174-x
5. Cil, Y., A., Abdurahman, D., Cil, I., (2022). Internet of Things enabled real time cold chain monitoring in a container port. *Journal of Shipping and trade*, Vol. 7, 9. Doi.org/10.1186/s41072-022-00110-z
6. Crooks, K., Haddud, A., (2025). Using Radio Frequency Identification (RFID) Technology in the Pharmaceutical Supply Chain: The Impact on Competitive Advantage. *Sustainability*, 17(4), 1378. Doi.org/10.3390/su17041378
7. Dauda, A., Flauzac, O., Nolot, F., A Survey on IoT Application Architectures. *Sensors*, 24(16), 5320. Doi.org/10.3390/s24165320
8. Gillespie, J., Costa, T., P., d., Moncunill, X., C., Cadden, T., Condell, J., Cowderoy, T., Ramsey, E., Murphy, F., Kull, M., Ramanathan, R., (2023). Real-Time Anomaly Detection in Cold Chain Transportation Using IoT Technology. *Sustainability*, 15(3), 2255. Doi.org/10.3390/su15032255
9. Iyer, P., Robb, D. (2025) Cold chain optimisation models: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 204, 110972. doi.org/10.1016/j.cie.2025.110972.
10. Jaelani, I., Harsanto, B., Azis, Y., Sari, D., Kaltum, U., (2025). Cold chain logistics challenges on sustainability: A systematic review. *Sustainable Futures*, Vol. 10, 101559. Doi.org/10.1016/j.sft.2025.101559
11. Jiang, J., Wang, H., Mu, X., Guan, S., (2020) Logistics industry monitoring system based on wireless sensor network platform. *Computer Communications*, Vol. 155, p. 58-65. Doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.016
12. Mustafa, S., S., M., F., M., Navaranja, N., Demirovic, A., (2024). Food cold chain logistics and management: A review of current development and emerging trends. *Journal of Agriculture and Food Research*, Vol. 18, 101343. Doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101343
13. Melis-Badia, R., Carthy, M., U., Hierro-Garcia, J., Villalba, R., I., J., (2018). New trends in cold chain monitoring applications - A review. *Food control*, Vol. 86, p. 170-182. Doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.022

14. Niu, H., Liu, X., Wang, B., Shi, W., (2024). Development, research and policy status of logistics cold storage in the context of carbon neutrality: An overview. *Energy and Building*, Vol. 320, 114606. Doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114606
15. Ren, T., Ren, J., Matellini, B., D., Ouyang, W., (2022). A Comprehensive Review of Modern Cold Chain Shipping Solutions. *Sustainability*, 14(22), 14746. Doi.org/10.3390/su142214746
16. Shi, H., Zhang, Q., Qin, J., (2024). Cold Chain Logistics and Joint Distribution: A Review of Fresh Logistics Modes. *Systems*, 12(7), 264. Doi.org/10.3390/systems12070264
17. Wang, K., Du, N., (2025). Real-time monitoring and energy consumption management strategy of cold chain logistics based on the internet of thing. *Energy Informatics*, 8,(34). Doi.org/10.1186/s42162-025-00493-w
18. Wang, J., Wang, H., He, J., Li, L., Shen, M., Tan, X., Min, H., Zheng, L., (2015). Wireless sensor network for real-time perishable food supply chain management. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 110, p. 196-207. Doi.org/10.1016/j.compag.2014.11.009.
19. Xu, B., Sun, J., Zhang, Z., Gu, R., (2023). Research on Cold Chain Logistics Transportation Scheme under Complex Conditional Constraints. *Sustainability*, 15(10), 8431. Doi.org/10.3390/su15108431

FEATURES OF COLD SUPPLY CHAIN ORGANIZATION: THEORETICAL ASPECTS

Abstract

The supply chain of temperature-sensitive goods is critically important part of the logistics business. Maintaining the right temperature is extremely important in the supply of food, medicines, chemicals and many other goods, so that the products reach the consumer in the right quality and safe for consumption. This process is called the cold supply chain process. The main goal of the cold supply chain is to ensure the right temperature from the manufacturer to the end user. As the volume of transportation of temperature-sensitive goods/products increases, challenges arise in ensuring the temperature regularity. It is important to ensure the right temperature in different parts of supply chain – in production, storage and transportation processes. The aim of the article is to reveal the peculiarities of organizing the cold supply chain. After analyzing scientific literature sources it was determined that the internet of things (IoT), wireless sensor network (WSN) technology and radio frequency identification (RFID) technology are most often used to increase the efficiency of the cold supply chain.

Keywords: supply chain, temperature mode, cold chain, WSN, IoT, RFID.