

# Droneilla take away -ruokaa kotiin – miten käy annoksen lämpötilan?

## Sisällysluettelo

Drone-testeistä .....	1
Asetukset ja ohjeistukset .....	2
Matemaattinen malli .....	3
Lämpötilaennusteet .....	3
Johtopäätökset ja jatkokehitys .....	9

---

Ruokaa kotiin kestävästi ja älykkäästi (RUOKO) -hankkeessa tutkittiin keväällä 2022, miten take away -ruoka-annospakkauksissa lämpötila säilyy, kun pakkauksia kuljetetaan dronella. Mittauksissa pakkauksiin kiinnitettiin lämpötila-anturi, joka seurasi ruoka-annosten lämpötilaa jatkuvatoimisesti sekunnin välein koko testilennon ajan. Testilennot toteutettiin VTOL-ilma-aluksella Orivedellä toukokuussa 2022, ja ne kestivät pääsääntöisesti noin 10–15 minuuttia. Lennoilla mitattiin annosten lämpötilan muutosta sekä kylmille take away -annoksille (esim. salaatit) että lämpimille take away -annoksille (lämmin ateriala).

Testilennoilta kerätyn mittausdatan perusteella muodostettiin matemaattinen malli, jonka perusteella pystytään arvioimaan sekä kylmien että lämpimien take away -annosten lämpötilan muutosta pidemmällä aikavälillä. Tässä blogitekstissä tehdään erilaisia simulaatioita muodostetulla mallilla. Tarkoituksena on ennustaa, miten ruokapakkausten lämpötila muuttuu kuljetuslennon aikana erilämpöisillä ruoka-annoksilla sekä erilaisilla ulkolämpötiloilla.

## Drone-testeistä

RUOKO-projektin yhtenä projektisuunnitelmaan kirjattuna tavoitteena oli testata innovatiivisia ruoankuljetusratkaisuja ja jo alusta lähtien valmiiden ruoka-annosten lennättäminen miehittämättömällä ilma-aluksella (dronella) oli ajatuksena. Kattavan testisarjan toteuttaminen on kokonaisuudessaan iso urakka mutta onneksi saimme TAMKin tiloissa toimivan Lentola Logistics Oy:n (myöh. Lentola) valjastettua mukaan testeihin. Lentolan erityisosaaminen liittyi pystysuuntaisesti nousevaan ja laskeutuvaan miehittämättömään ilma-alukseen ja sillä tehtäviin logistiikkaratkaisuihin. RUOKO-hankkeen myötä kokemuspalettiin saatiin mukaan valmiit ruoka-annokset.

Lentolan rooli testeissä oli luonnollisesti keskeinen ja heidät osallistettiin RUOKO-hankkeen testisuunnitteluprosessiin. Kun testisarjaa suunniteltiin, mietimme asiat ensisijaisesti valmisruuan kuljettamisen kannalta mutta Lentolan arvokkaat kommentit koskien ilma-aluksella kuljettamisen realiteetteja otettiin käytännössä poikkeuksetta huomioon.

Yksi ensimmäisistä päätettävistä asioista olivat testilentojen pituudet. Päädyimme ratkaisuun, jossa ruuan ilmakuljetuksen eri tapauksia mahdollisimman hyvin kattaisivat kolmen, yhdeksän ja 15:n kilometrin kuljetusmatkat. Myös ilma-alukseen sopiva lämpöä eristävä ulkopakkauratkaisu, jonka Lentola suunnitteli ja toteutti, oli oleellinen osa testien valmistelua. Oli tärkeää huomioida, että kuljetuspakkauksen tuli viimeistään varmistaa se, että take away- pakkauksen mahdollisesti vuotaessa ei mitään ruokajäämiä pääse valumaan dronen sisätiloihin.

Ilma-aluksesta logattiin seuraava datatieto jatkuvana kaikista lennoista: sijainti (lat, lon), korkeus, maanopeus, ilmanopeus, kiihtyvyyys, asento ja energiankulutus. Itse ruokaan liittyen toteutettiin jatkuvatoiminen lämpötilamittaus, joka aikatiedon kautta saatiin synkronoitua ilma-aluksen muihin mittauksiin. Myös ilma-aluksen välittömän läheisyyden ulkolämpötilan jatkuvatoiminen mittaus toteutettiin.

TAMKin henkilökunnan huolehtiessa itse ruokiin liittyvistä toimenpiteistä, oli Lentolan tehtävänä hoitaa testien lentovalmistelut, erillisen kuvausdronen operointi sekä ruokakuljetusta tekevän ilma-aluksen operointi maa-asemalta käsin.

Vaikka itse testien päätarkoitus olikin ilma-aluksen soveltuvuuden testaus ruokakuljetuksiin (erityisesti ruuan lämpötilan säilymisen osalta), testeistä saatiin arvokasta tietoa myös yleisesti Lentolan ilma-aluksen tekniseen kehitykseen liittyen.

## Asetukset ja ohjeistukset

Drone-kuljetusta suunniteltaessa otettiin huomioon Ruokaviraston ohjeistus sekä sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus elintarvikkeiden kuljetuslämpötiloista ja muista kuljetusoloista.

Ohjeistusten mukaan kuljetusajoneuvoista ja konteista ei saa siirtyä vierasta hajua, makua tai muita haitallisia ominaisuuksia kuljetettaviin elintarvikkeisiin. Elintarvikkeet on sijoitettava kuljetusajoneuvossa siten, ettei niihin siirry vierasta hajua, makua tai muita haitallisia ominaisuuksia myöskään kuljetusajoneuvossa kuljetettavista muista elintarvikkeista tai muista tavaroista.

Elintarvikkeita kuljetettaessa on käytettävä tiiviisti suljettavaa kuljetuskalustoa, jollei elintarvikkeita ole pakattu siten, että elintarvikkeet ovat kuljetuksen aikana suojattuina kastumiselta tai jäätymiseltä tai pölyntyymiseltä tai muulta likaantumiselta. Kuljetus on järjestettävä siten, ettei elintarvikkeiden hygieeninen laatu vaarannu kuljetuksen aikana.

Ruokaviraston ohje ruoan kuljetuksesta toteaa mm., että jos kylmän ruoan kuljetustilassa ei ole erillistä jäähdytyslaitteistoa, kuljetukseen on hyvä käyttää esimerkiksi puhdasta styrox-laatikkoa

tai kylmälaukkua, jonka sisällä on kylmä geelimatto. Kuumien ruokien kuljetukseen voi käyttää esimerkiksi styrox-laatikkoa, jonka sisällä on kuuma geelimatto. Kuljetusajat tulisi pitää mahdollisimman lyhyinä, varsinkin, jos käytössä ei ole kylmä-/lämpölaatikkoa. Testejä varten take away -annosten kuljettamista varten Lentola suunnitteli dronen kuljetustilaan sopivan styrox-laatikon, jonka tiiviys varmistettiin.

Testit suunniteltiin siten, että droneen säilyy näköyhteys koko testien ajan, jolloin erillistä Traficomien lentolupaa ei tarvita. Oriveden kaupungin kanssa sovittiin heidän kiinteistöjensä ja maidensa käytöstä lentotarkoitukseen. Valitulla testipaikalla ei myöskään ollut rajoituksia lentokorkeuden suhteen.

## Matemaattinen malli

Ruokapakkausten lämpötilamittausten perusteella saadaan muodostettua matemaattinen malli, jonka avulla voidaan estimoida lämpötilan muutosta kuljetuslentojen aikana. Mallissa käytetään pohjana fysikaalista **Newtonin jäähtymislakia** (Hughes-Hallett, Gleason & ym. 1998), jonka mukaan lämpötilan muutokselle on voimassa differentiaaliyhtälö

$$\frac{dT}{dt} = -K(T(t) - T_{\text{ymp}}),$$

missä  $t$  on aika,  $T = T(t)$  on kappaleen eli tässä tarkastelussa ruokapakkauksen lämpötila eri ajanhetkinä,  $T_{\text{ymp}}$  on ympäristön lämpötila eli tässä tapauksessa ulkolämpötila,  $\frac{dT}{dt}$  on lämpötilan derivaatta (kuvaa lämpötilan hetkellistä muutosnopeutta) ajan suhteen ja  $K$  on malliin liittyvä kokeellinen vakio.

Jos ruokapakkauksen lämpötila tarkastelun alussa on  $T_{\text{alku}}$ , differentiaaliyhtälön ratkaisuksi ajanhetkellä  $t$  saadaan

$$T(t) = T_{\text{ymp}} + (T_{\text{alku}} - T_{\text{ymp}})e^{-Kt}. \quad (1)$$

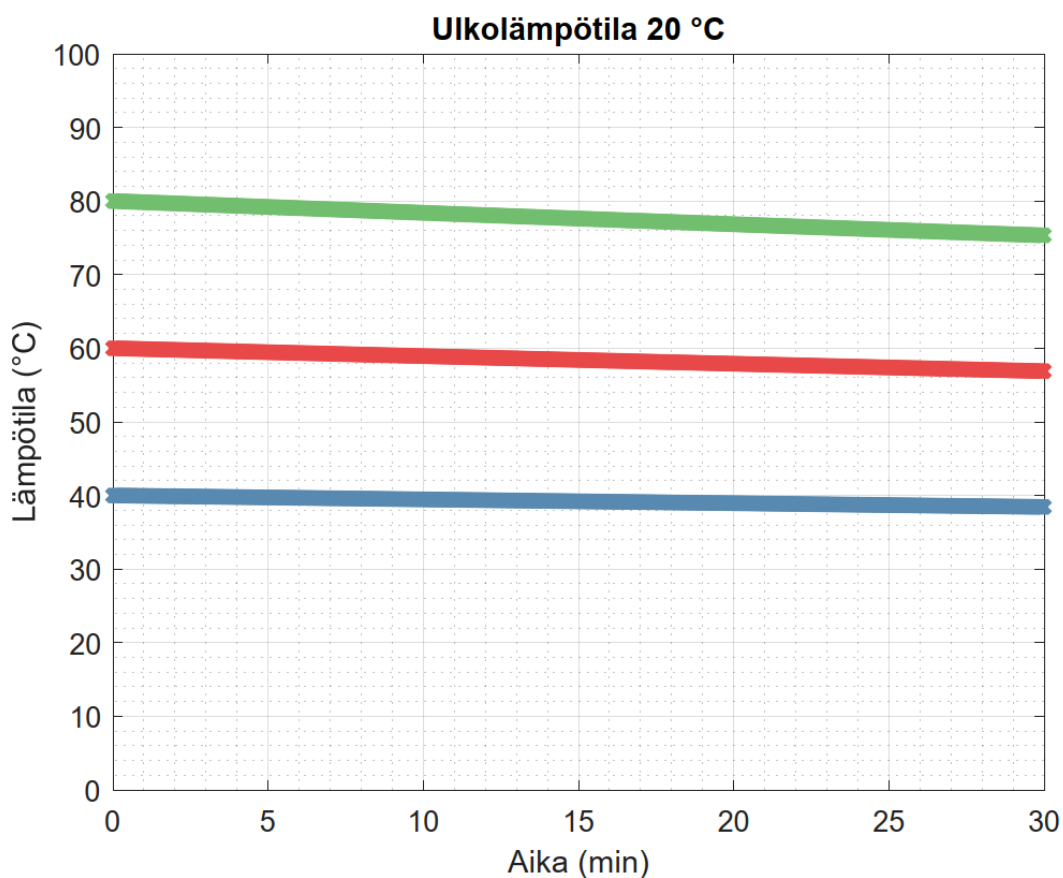
Pakkauksen lämpötilan kasvukäyttäytyminen voidaan laskea yllä kuvatun matemaattisen mallin avulla sijoittamalla lausekkeeseen (1)(1)(1) ruokapakkauksen alkulämpötila, ympäristön lämpötila, vakion  $K$  arvo sekä erilaisia ajan arvoja. Näin saadaan lämpötila eri ajanhetkinä, mikä kannattaa esittää graafisesti kuvaajana.(1)

## Lämpötilaennusteet

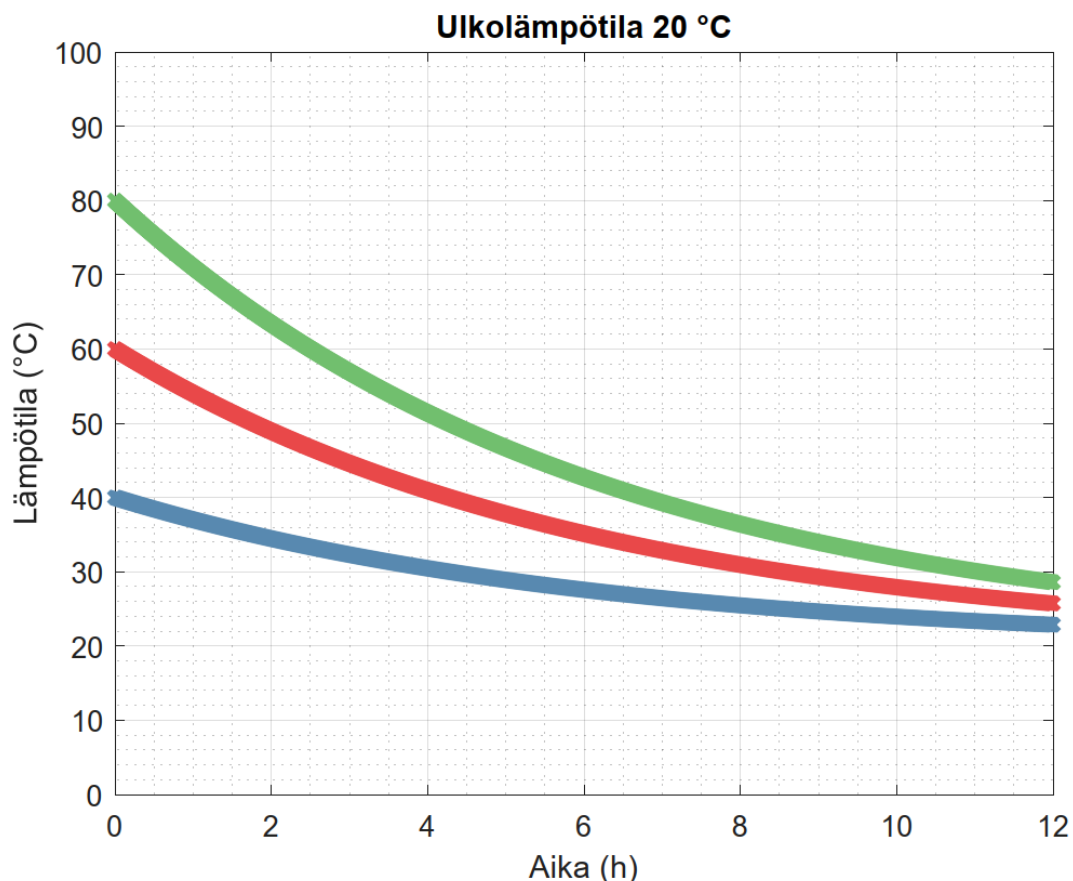
Tavoitteena on arvioida lämpötilan muutosta lämpimille ruokapakkauksille kuljetuslennon aikana. Näissä simulaatioissa lausekkeen (1) vakiolle  $K$  käytetään arvoa  $K = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$ , mikä on lähellä sitä arvoa, joka laskettiin lämpimien pakkausten (keskilämpötila  $45,7^\circ\text{C}$ )

testilennoilta saatujen mittausten perusteella. Simulaatioissa lasketaan lämpötilat 30 minuuttia kestävän kuljetuslennon aikana sekä 12 tunnin kuljetuksen aikana. Jälkimmäinen tarkastelu toteutetaan sen takia, jotta nähdään, miten malli ennustaa lämpötilan muutoksen pitkällä aikavälillä.

Ensimmäisessä simulaatiossa asetetaan ulkolämpötilaksi 20 °C, ja ruokapakkausten lämpötilat ovat 40 °C, 60 °C ja 80 °C. Kuvioon 1 on piirretty lämpötilakuvaajat kaikille kolmelle ruokapakkaukselle 30 minuutin lennon aikana, ja kuvioon 2 vastaavasti 12 tunnin aikavälillä. Kuten voisi olettaa, mitä korkeampi alkulämpötila ruokapakkauksella on, sitä jyrkemmin lämpötila lähtee tasoittumaan kohti ulkolämpötilaa. Esimerkiksi 80 celsiusasteen ruokapakkauksella lämpötila laskee simulaation perusteella 5 °C puolessa tunnissa, kun taas 40 celsiusasteen ruokapakkauksella lämpötila laskee vain n. 1,5 °C. Kuviosta 2 huomataan, että ruokapakkausten lämpötilat asettuvat pitkällä aikavälillä ulkolämpötilan paikkeille. Simulaatiot vahvistavat käsitystä, että kotiinkuljetus ei saa kestää liian kauan, tai muuten ruokien lämpötila laskee liian paljon. Jos kuljetus kestää esimerkiksi kaksi tuntia, lämpötila laskee 40 °C ruokapakkauksella kuusi astetta, 60 °C pakkauksella 12 astetta ja 80 °C pakkauksella jopa 17 astetta.



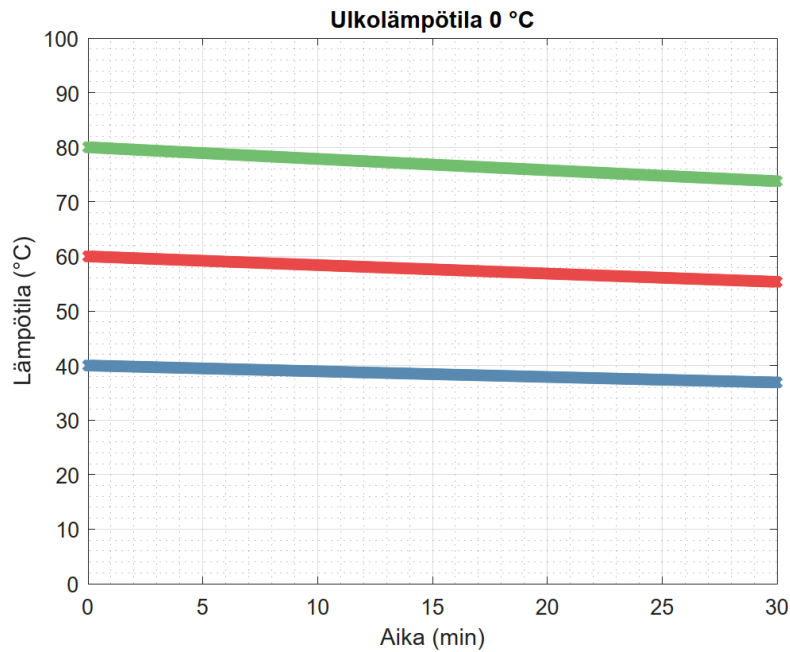
**Kuvio 1.** Kolmen ruokapakkauksen (alkulämpötilat 40 °C, 60 °C ja 80 °C) lämpötilasimulaatiot 30 minuutin kuljetuslennon aikana, kun ulkolämpötila on 20 °C.



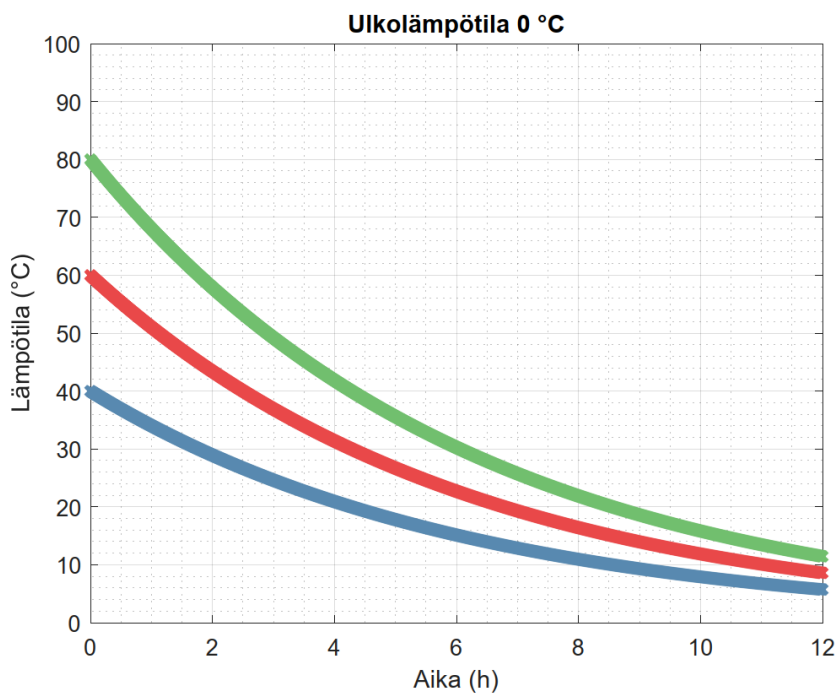
**Kuvio 2.** Kolmen ruokapakkauksen (alkulämpötilat 40 °C, 60 °C ja 80 °C) lämpötilasimulaatiot 12 tunnin kuljetuslennon aikana, kun ulkolämpötila on 20 °C.

Toisessa simulaatiossa testataan aiempaa kylmempää olosuhteita ja asetetaan ulkolämpötilaksi 0 °C. Ruokapakkausten alkulämpötilat ovat samat kuin ensimmäisessä simulaatiossa, eli 40 °C, 60 °C ja 80 °C. Näille ruokapakkauksille piirretään vastaavat lämpötilakuvaajat kuin ensimmäisessä simulaatiossa, minkä jälkeen tuloksia verrataan keskenään. Ruokapakkausten lämpötilakuvaajat ensimmäisen puolen tunnin aikana on esitetty kuviossa 3, ja kuviossa 4 on tehty vastaava tarkastelu 12 tunnin aikavälillä. Koska ulkolämpötila on nyt matalampi kuin ensimmäisessä simulaatiossa, ruokapakkausten lämpötilat laskevat jyrkemmin. Esimerkiksi 80 °C ruokapakkauksella lämpötila laskee yli kuusi celsiusastetta puolen tunnin kuljetuslennolla. Lämpötilojen jyrkempi lasku näkyy selvemmin kuviossa 4, jossa lämpötilat lähestyvät ulkoilman nollaa celsiusastetta. Jos lämpötiloja tarkastellaan kahden tunnin kuljetuksen jälkeen, 40 °C ruokapakkauksen lämpötila on laskenut yli 11 astetta, 60 °C pakkauksen lämpötila on laskenut melkein 17 astetta ja 80 °C pakkauksen lämpötila on laskenut melkein 23 astetta. Kun tuloksia

verrataan ensimmäiseen simulaatioon, huomataan että 20 asteen muutos ulkolämpötilassa vaikuttaa sen verran, että ruokapakkaukset jäähtyvät noin viisi astetta enemmän kahden tunnin aikavälillä.

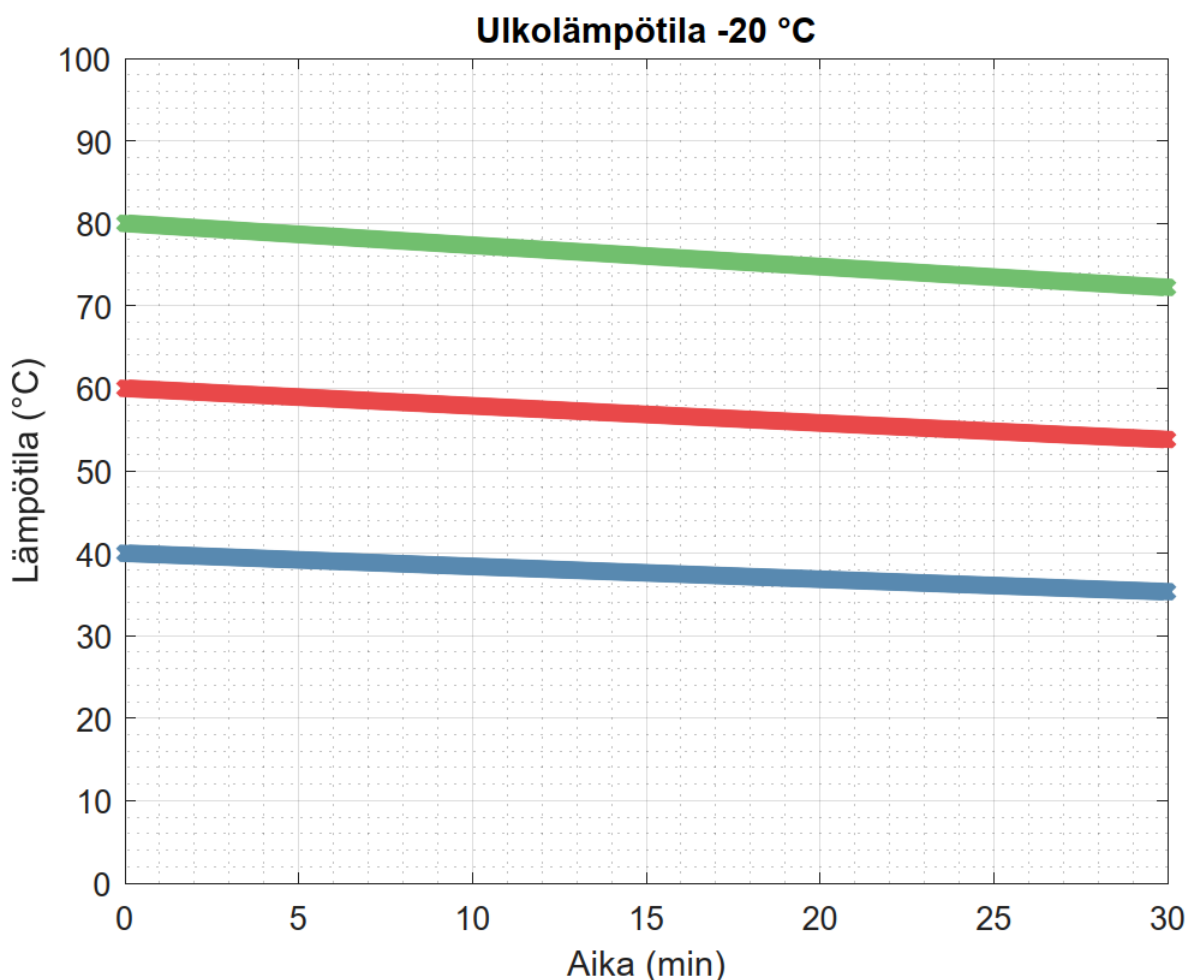


**Kuvio 3.** (yllä) Kolmen ruokapakkauksen (alkulämpötilat 40 °C, 60 °C ja 80 °C) lämpötilasimulaatiot 30 minuutin kuljetuslennon aikana, kun ulkolämpötila on 0 °C.



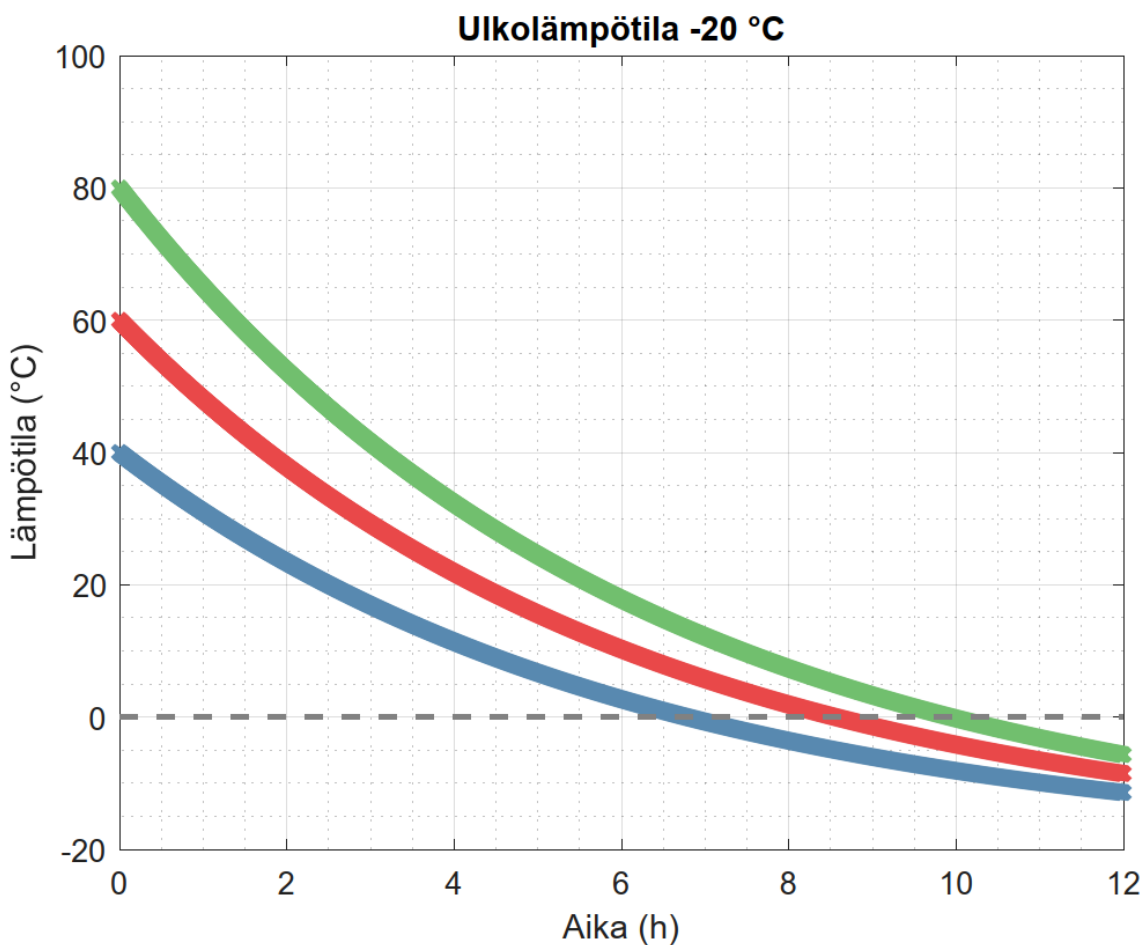
**Kuvio 4.** (yllä) Kolmen ruokapakkauksen (alkulämpötilat 40 °C, 60 °C ja 80 °C) lämpötilasimulaatiot 12 tunnin kuljetuslennon aikana, kun ulkolämpötila on 0 °C.

Lopuksi simuloidaan talviolosuhteita ja testataan, kuinka nopeasti ruokapakkaukset jäähtyvät, kun ulkolämpötilaksi on asetettu  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Itse ruokapakkauksille pidetään samat alkulämpötilat kuin aiemmissakin simulaatioissa, eli  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ruokapakkauksille piirretään jälleen vastaavat lämpötilakuvaajat kuin edellisissä simulaatioissa, minkä jälkeen tuloksia verrataan aiempiin simulaatioihin. Lämpötilakuvaajat ensimmäisen 30 minuutin aikana on esitetty kuviossa 5, ja kuviossa 6 on tehty tarkastelu 12 tunnin aikavälillä. Nyt kun ulkolämpötila on laskenut entisestään, ruokapakkausten lämpötilat laskevat jyrkemmin kuin aiemmissa simulaatioissa. Esimerkiksi  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  ruokapakkauksella lämpötila ehtii laskea noin kahdeksan celsiusastetta puolen tunnin drone-kuljetuksen aikana.



**Kuvio 5.** Kolmen ruokapakkauksen (alkulämpötilat  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) lämpötilasimulaatiot 30 minuutin kuljetuslennon aikana, kun ulkolämpötila on  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Lämpötilojen jyrkkä lasku näkyy parhaiten kuviossa 6, jossa lämpötilat ehtivät mennä jopa pakkasen puolelle tarkasteltavan 12 tunnin aikana. Kahden tunnin kuljetuksen jälkeen 40 °C ruokapakkauksen lämpötila on laskenut 17 astetta, 60 °C pakkauksen lämpötila on laskenut noin 22,5 astetta ja 80 °C pakkauksen lämpötila on laskenut jopa 28 astetta. Lisäksi huomataan, että 40 °C ruokapakkauksella kestää noin 6,5 tuntia jäähtyä nolnaan asteeseen, kun taas 60 °C pakkauksella vastaava jäähtyminen kestää 8,5 tuntia, ja 80 °C pakkauksella tämä kestää 10 tuntia. Kun tuloksia verrataan ensimmäiseen ja toiseen simulaatioon, huomataan jälleen, että 20 asteen muutos ulkolämpötilassa vaikuttaa siten, että ruokapakkaukset jäähtyvät noin viisi astetta enemmän kahden tunnin aikavälillä.



**Kuvio 6.** Kolmen ruokapakkauksen (alkulämpötilat 40 °C, 60 °C ja 80 °C) lämpötilasimulaatiot 12 tunnin kuljetuslennon aikana, kun ulkolämpötila on -20 °C.



## Johtopäätökset ja jatkokehitys

Lämpötilasimulaatioiden perusteella huomataan, että mitä korkeampi ruokapakkauksen alkulämpötila on, sitä jyrkemmin lämpötila muuttuu. Ruokapakkauksen lämpötila pyrkii tasoittumaan ulkolämpötilan arvoon, ja mitä kauempana ruokapakkauksen lämpötila on ulkolämpötilasta, sitä jyrkemmin lämpötila laskee.

Matemaattisen mallin parametrit perustuvat drone-lentojen mittauksiin, jotka tehtiin noin 45 °C ruokapakkauksille hieman yli 20 °C ulkolämpötilassa. Kun ruokapakkausten lämpötila tai ulkolämpötila muuttuvat, on mahdollista, että mallin parametrit vaativat myös hienosäätöä, jotta malli ennustaisi lämpötilan muutoksia realistisesti muuttuneissa lämpötiloissa. Voi esimerkiksi olla mahdollista, että 80 °C ruokapakkaus jäähtyisi vielä voimakkaammin talvipakkasella. Tämän takia olisi tärkeä päästä testaamaan ja mittaamaan luonnossa, kuinka nopeasti lämpimät ruoka-annokset jäähtyvät esim. 0 °C ja -20 °C ulkolämpötiloissa. Vastaavasti voisi testata, miten nopeasti kylmät ruokapakkaukset (esim. salaattit ja maidot, tai jäätelöt ja pakasteet) lämpenevät kesäisinä hellepäivinä, kun ulkolämpötila on yli 30 °C.

Lämpötilan todellisiin mittauksiin perustuva jäähtymismalli mahdollistaa lämpötilaltaan laadukkaan ruuan toimittamisen asiakkaalle sekä järjestämään kuljetuslogistiikka siten, että ruuan lämpötila on asiakkaalle toimitushetkellä sitä mitä pitää. Tämä tieto oletettavasti auttaa myös lämpötilaketjun verifiointissa niissä tapauksissa, kun yksi kuljetuksen osa toteutetaan drone-lennoin. Riittävän kattavat lämpötilamallit joka tapauksessa mahdollistavat paremman reaaliaikaisen ruuan lämpötilatiedon (ennusteen) saamisen ilman erillisen reaaliaikaisen mittauksen järjestämistä.

## LÄHTEET

Deborah Hughes-Hallett, Andrew M. Gleason & ym. 1998. Calculus: Single Variable. 2. painos. New York. John Wiley & Sons.

Lentola Logistics Oy. <https://www.lentola.com> Viitattu 30.5.2023.

## Kirjoittajat:

Miika Huikkola, lehtori, Pedagogiset ratkaisut ja kulttuuri  
Sara Nortunen, lehtori, Pedagogiset ratkaisut ja kulttuuri