

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
Logisztikai Intézet



**HOGYAN JÁRULT HOZZÁ A LOGISZTIKA A COVID-19 ELLENI
GLOBÁLIS KÜZDELEMHEZ? – COLD CHAIN FOLYAMATOK**

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Készítette:

Seprényi Kitti

Logisztikai mérnöki BSc III. évfolyam

Neptun kód: T6D9NH

Konzulens:

Dr. Cservenák Ákos

adjunktus

Logisztikai Intézet

Prof. Dr. Tamás Péter

intézetigazgató, egyetemi tanár

Logisztikai Intézet

Miskolc
2022

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	1
2.	A LOGISZTIKA ÉS A COLD CHAIN KAPCSOLATA	2
3.	A COLD CHAIN FEJLŐDÉSE A COVID-19 PANDÉMIA ALATT.....	10
4.	A COVID-19 VAKCINÁK CSOMAGOLÁSA, TÁROLÁSA ÉS SZÁLLÍTÁSA.....	13
4.1.	COMIRNATY, A PFIZER- BIONTECH VAKCINÁJA	17
4.2.	MODERNA	18
4.3.	ASTRAZENECA	18
4.4.	JANSSEN	18
4.5.	SZPUTNYIK V	18
4.6.	SINOPHARM	19
5.	AZ ULTRAALACSONY HŰTÉSI LÁNCÚ (UCC) RENDSZER KIALAKÍTÁSA.....	20
5.1.	LÉPCSŐZETES (KASZKÁD) ELOSZTÁSI STRATÉGIA	20
5.1.1.	<i>Egyetlen, centralizált UCC központ</i>	<i>21</i>
5.1.2.	<i>Többszörös UCC központ</i>	<i>22</i>
5.2.	GYORS VAKCINELOSZTÁSI STRATÉGIA.....	23
5.3.	LÉPCSŐZETES (KASZKÁD) VAGY GYORS VAKCINAELOSZTÁSI STRATÉGIA?	25
5.4.	A LEGFONTOSABB SZEMPONTOK AZ ULTRAHIDEG HŰTÉSI LÁNC-RENDSZER TERVEZÉSÉNÉL ÉS IRÁNYÍTÁSÁNÁL.....	26
6.	LOGISZTIKAI PROBLÉMÁK	29
7.	ÖSSZEFOGLALÁS	33
	IRODALOMJEGYZÉK.....	34

1. Bevezetés

A TDK dolgozatom tárgya a Covid-19 vírus elleni vakcinák és azok miatt előtérbe kerülő hűtési lánc. A vírus visszaszorítása és legyőzése érdekében a vakcinák megjelenése hatalmas előrelépést jelentett az emberiség számára, azonban komoly fejtörést jelentett az, hogy hogyan és milyen körülmények között juthatnak el ezek a vakcinák az előállítási helyükről a felhasználási helyükig. Akár csomagolás, akár szállítás terén szigorú előírásoknak kell megfelelni, illetve a COVID-19 vakcináknak különböző hűtési lánc-követelményei vannak a vakcina típusától, hőstabilitásától, jelenlegi állapotától és a különböző tárolási hőmérsékleten való eltarthatóságától függően. Jelenleg a Pfizer-BioNTech COVID-19 vakcina az egyetlen COVID-19 vakcina, amelyet -90°C és -60°C közötti ultraalacsony hőmérsékleten (ULT – Ultra-Low Temperature) kell tárolni és szállítani. Ennek a hatékony alkalmazásához jó hűtési lánc-tervezésre, a vakcinaellátás, a logisztika és az elosztás hatékony irányítására, valamint az ULT-berendezések stratégiai telepítésére van szükség. A pandémiának köszönhetően egyre jobban előtérbe került a hűtési lánc logisztika, így a *Hogyan járult hozzá a logisztika a Covid-19 elleni globális küzdelemhez? – Cold chain folyamatok* lett a kutatómunkám címe. Jelen TDK dolgozatban megvizsgálom a logisztika és a cold chain kapcsolatát, hogyan fejlődött a hűtési lánc a pandémia alatt, milyen módok léteznek a vakcinák csomagolását, tárolását és szállítását illetően, továbbá milyen logisztikai problémák léptek fel a folyamatok közben.

2. A logisztika és a cold chain kapcsolata

A globalizációnak köszönhetően ma már eljutottunk addig, hogy a világ minden területére termékeket tudunk szállítani. Azonban minél nagyobb fizikai távolságot kell áthidalni szállítás közben, annál nagyobb az esély arra, hogy a terméket valamilyen kár érje. Hiszen ahhoz, hogy a szállítás hatékony legyen időre és koordinációra van szükség és negatív következményekkel járhat minden késedelem. Ez különösen igaz az élelmiszeripari, gyógyszer- és orvosipari termékekre, így ezek a vállalkozások egyre inkább a hűtési lánc folyamatokra támaszkodnak.

A hűtési lánc a hőmérsékletre érzékeny termékek szállítását jelenti az ellátási láncban, termikus és hűtött csomagolási módszerekkel, valamint az e szállítmányok integritásának védelmét szolgáló logisztikai tervezést [1].

A cold chain folyamatok előtérbe kerülésének köszönhetően sok vállalat már nem csak a mindenki által ismert szállítókra támaszkodik, mint például a FEDEX vagy a United Parcel Service (UPS), hanem olyanokra is, akik a hőmérséklet-érzékeny termékek szállítására specializálódtak főként (Maersk, Patheon). Ezen szállítók ismerik a vámokat, a helyi szabályokat, a környezeti feltételeket, tudják melyik útvonal a legmegfelelőbb, így nagyon fontos tényezői lettek a globális kereskedelemnek. A hűtési lánc számos fejlődő ország számára lehetővé teszi, hogy részt vegyen a romlandó termékek globális piacán, ezzel hozzájárul a gazdasági fejlődéshez. A hűtési lánc globális szinten hatással van a mezőgazdasági funkciók specializálódására, amelyek lehetővé teszik a hőmérsékletre érzékeny élelmiszerek távoli piacokra történő szállítását, továbbá a vakcinák és más gyógyszeripari vagy biológiai termékek forgalmazását [1].

A logisztika világában a hűtési lánc-technológia már évtizedek óta létezik és az egyszerűbb időkből, amikor az élelmiszereket jégbe csomagolták szállítás közben, napjainkban az életmentő vakcinák ultrahideg hőmérsékleten történő komplex mozgatásáig fejlődött. Bár a technológia fejlődése megkönnyítette a hőmérséklet-szabályozott termékek szállítását világszerte, az alapkoncepció ugyanaz maradt: az árukat a megfelelő hőmérsékleten kell tartani, hogy a végfelhasználó számára biztosítsák a hatékonyságot és a biztonságot. A hőmérséklet-érzékeny áruk hűtéssel történő szállítására 1797-re nyúlik vissza, amikor a brit halászok jeget használtak a halraktáraik tartósítására. Ez a folyamat az 1800-as évek végén is megjelent az élelmiszerek, pontosabban a tejtermékek vidéki területekről a városi fogyasztási piacokra történő szállításán. A hűtőtárolás a gyarmati hatalmak és gyarmataik közötti élelmiszer-kereskedelem kulcsfontosságú eleme is volt. Franciaország például az 1870-es évek végén és

az 1880-as évek elején kezdett nagy mennyiségű fagyasztott hússzállítmányt kapni Dél-Amerikából, Nagy-Britannia pedig fagyasztott marhahúst importált Ausztráliából. 1910-re csak Nagy-Britanniába 600 000 tonna fagyasztott húst hoztak. A United Food Company az első, banánkereskedelemre szolgáló hűtőhajót 1903-ban állította forgalomba. Ez tette lehetővé, hogy a banánból, mint egzotikus gyümölcsből, amelynek kicsi volt a piaca - mert túl éretten érkezett a piacokra - a világ egyik legfogyasztottabb gyümölcsévé váljon. 1930-ban Frederick Jones megtervezte és szabadalmaztatta a romlandó élelmiszereket szállító teherautók hordozható légűtő egységét. Az 1930-as évek végére már hűtőkocsik és teherautók szállították a romlandó élelmiszereket nagy távolságokra. A hűtési lánc-ipar gyors növekedését az 1956-os államközi autópálya-törvény tette lehetővé [1] [2].

A hűtési lánc és a hűtőkamionok sok változáson estek át. A fejlődő technológiának köszönhetően lehetővé vált a hűtési lánc minden egyes aspektusának magas szintű ellenőrzése. A hűtési lánc-iparág az Egyesült Államok bruttó hazai termékéhez 56 milliárd dollárral járult hozzá és 2012-ben 49 államban 67 000 munkahelyet biztosított. Mivel az Egyesült Államok világelső a hatékony hűtési lánc-technológiák és menedzsmentfolyamatok fejlesztésében, ezért manapság már szinte az egész világot lefedi a cold chain [2].

A gyógyszerek és orvosi termékek hőmérséklet-szabályozott szállítása sokkal modernebb gondolat, mint a hűtött vagy fagyasztott élelmiszerek szállítása. Az 1950-es évektől kezdve kezdtek megjelenni a logisztikai harmadik félként működő vállalatok (3PL), melyek új módszereket vezettek be ezen globális árucikkek sikeres szállítására. Megjelenésük előtt a hűtési lánc-folyamatokat többnyire a gyártó házon belül irányította. Az Egyesült Államokban az Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatal által a hűtési lánc stabilitására vonatkozó korlátozások és más intézkedések sok vállalatot arra ösztönöztek, hogy speciális futárszolgálatokra támaszkodjanak ahelyett, hogy teljesen átalakították volna ellátási láncukat. Így született meg ez a speciális iparág. A hűtési lánc-folyamatokat a drága vakcinák és orvosi készletek megőrzésében csak akkor kezdték felismerni, amikor ezek a logisztikai szolgáltatók megjelentek. Ahogy a tudatosság kezdett növekedni, úgy nőtt a hűtési lánc hatékony irányításának igénye is, különösen igaz ez a Covid-19 pandémia ideje alatt [2].

A klinikai kutatások és kísérletek az iparág jelentős részét képezik, amelyek dollármilliókba kerülnek és a hibaarány 80% körüli. A Healthcare Distribution Management Association szerint a közel 200 milliárd dolláros gyógyszerforgalmazásból körülbelül 10% a hőmérsékletre érzékeny gyógyszerek aránya. Ez azt jelenti, hogy a hűtési lánc közel 20 milliárd dolláros befektetés szállításáért felelős. Ha szállítás közben valamilyen okból kifolyólag megváltozik a

hőmérséklet, akkor fennáll annak a veszélye, hogy hatástalanná válnak a szállítmányok vagy akár károsak is lehetnek a betegek számára [1].

Az élelmiszerek szállításának hőmérséklet-szabályozása az iparág egyik olyan eleme, amelynek szükségessége a nemzetközi kereskedelemmel együtt folyamatosan növekszik. Mivel az élelmiszer- és terméktermelés egyre több ország exportgazdaságának középpontjában áll, ezért egyre fontosabbá vált, hogy ezeket a termékeket hosszabb ideig frissen tartsák. Az évek alatt változott az igény az ételeket illetően, többen a friss gyümölcsöket és a magasabb értékű élelmiszereket, például a húst és a halat preferálják, így ezek iránt nőtt meg az igény. Az egészséges táplálkozás egyre fontosabbá válik a fogyasztóknak, ezért a termelők és a kiskereskedők a világ minden tájáról származó egzotikus friss gyümölcsök széles választékával igyekeznek megfelelni [1].

Ha elmegyünk bevásárolni és megállunk a zöldség-gyümölcs részlegnél, valószínűleg találunk olyan termékeket, melyek nálunk az évszak miatt már nem teremnek, mint például mandarint Dél-Afrikából, banánt Costa Ricából vagy almát Új-Zélandról. Ez is a hűtési lánc logisztikájának köszönhető. 2002-ben a becslések szerint 1200 milliárd dollár értékű élelmiszert szállítottak 400 000 hűtőkonténerből (Reefers). Érdekesség, hogy az Egyesült Államok a gyümölcs- és zöldségfélék mintegy 30%-át importálja és az élelmiszerexport 20%-a romlandónak tekinthető. A hűtési lánc logisztika az összes általa érintett ellátási láncban a magasabb szintű integrációt részesíti előnyben, mivel a hőmérséklet fenntartása az összes érintett folyamat magasabb szintű ellenőrzését igényli [1].

Az egyik legfontosabb dolog a hűtési lánc folyamatoknál a hőmérséklet-szabályozott környezet biztosítása. Attól függően, hogy milyen terméket szállítunk, különböző hőmérsékletszintet kell fenntartani, hogy biztosítsuk az épséges érkezést. A leggyakoribb hőmérsékleti szabványok közé tartozik a "banán" (13 °C), a "chill" (2 °C), a "fagyasztott" (-18 °C) és a "mélyhűtött" (-29 °C). A hőmérsékleten belül maradása létfontosságú a szállítmány sértetlensége szempontjából az ellátási láncban és bármilyen eltérés visszavonhatatlan és költséges károkat okozhat; a termék egyszerűen elveszítheti piaci vagy használati értékét [1].

A szállítmányt hosszabb ideig egy hőmérsékleti tartományon tartani csak megfelelő konténer esetén lehetséges. Mivel a manuális hőmérséklet-nyilvántartás egy bizonyos ponttól megbízhatatlan, ezért innovatív megoldások kellettek. Ezek az 1970-es és 80-as években kezdtek felgyorsulni, amikor az Electrolux Luxembourg 1974-ben egy svédországi laboratórium által egy fából készült hűtőládával dolgozva egy könnyen szállítható vakcinatároló konténert hozott létre. A luxembourgi hűtőládát sikeresen tesztelték Ghánában,

így a gyártók számára széles körben használt modell lett. 1976-ban a WHO (World Health Organization – Egészségügyi Világszervezet) stratégiát dolgozott ki az oltóanyag-forgalmazás kritikus problémáinak kezelésére, beleértve a szállítás során a hőmérséklet ellenőrzésére szolgáló rendszereket, a tárolóeszközök és a személyzet megfelelő képzésének hiányát. 1977-ben, a hűtődoboz feltalálása után, az Egyesült Államokban működő, hordozható tárolóedényeket gyártó cég együttműködött a Pánamerikai Egészségügyi Szervezettel (PAHO – Pan American Health Organization) egy olyan vakcinatartó hordozó megalkotásában, amely mára világszerte elterjedt. A 70-es évek végén a PATH a WHO-val és különböző technológiai partnerekkel is elkezdett együttműködni, hogy jobban fel tudják mérni azt, hogy az oltóanyagokat hőhatás érte-e. Nagy előrelépést jelentett, hogy az 1980-as évek elején a PATH és a Temptime Corporation olyan hőmérséklet-érzékeny VVM (Vaccine Vial Monitor) matricákat hoztak létre, melyek színt váltanak, ha túl meleg van, ami azt jelenti, hogy a rájuk erősített vakcina hatástalanná vált. Ezeket a VVM-ek 1996-tól gyermekbénulás elleni vakcinákhoz is használják, ma pedig már a WHO minden UNICEF (United Nations International Children's Emergency Fund) által biztosított vakcinához előírja a VVM-ek használatát. A hűtési lánc-monitort (CCM - Cold Chain monitor) szintén az 1980-as években alkották meg az Egyesült Államokban és Svájcban működő vállalatok. Ez egy olyan újítás volt, mely által megbízhatóan nyomon lehetett követni az oltóanyagraktárakat a gyártótól a különböző országokban lévő szállítási helyszínekig [6].

Ahhoz, hogy tudjuk milyen csomagolásra van szükség fontos ismernünk a szállítmány méretét, a szállítás időtartamát és a környezeti vagy külső hőmérsékletet. Ezek a szárazjeget vagy gélcsomagokat igénylő kis szigetelt dobozoktól kezdve a guruló konténereken át egészen a több méter hosszúságú hűtőkonténerekig terjedhetnek, amelyek saját, motoros hűtőegységgel rendelkeznek. A főbb hűtési lánc-technológiák a következőket foglalják magukban [1]:

- Gélcsomagok. A gyógyszer- és gyógyszer szállítmányok nagy része hűtött terméknek minősül, ami azt jelenti, hogy $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérséklet-tartományban kell tárolni. Ehhez gélcsomagokat használnak, melyek olyan fázisváltó anyagokat tartalmaznak, melyek képesek szilárd halmazállapotból folyékony halmazállapotba és fordítva is változni, ezzel szabályozva a környezetet. Ezek a csomagok fagyasztott vagy hűtött állapotban indulnak, majd szállítás közben folyadékká válnak. E folyamat közben megkötik a távozó energiát és fenntartják a belső hőmérsékletet [1].
- Szárazjég. Ez szilárd szén-dioxid, körülbelül -80°C -os és képes egy szállítmányt hosszabb ideig fagyasztva tartani. Különösen veszélyes áruk, élelmiszerek és

gyógyszerek szállítására használják. Fontos, hogy a szárazjég mikor a levegővel érintkezik, akkor nem olvad, hanem szublimál [1].

- Folyékony nitrogén. Hosszú ideig történő fagyasztva tartáshoz ezt a különösen hideg, körülbelül -196 °C-os anyagot használják. Elsősorban biológiai szállítmányok, például szövetek és szervek szállítására használják. A szállítás szempontjából veszélyes anyagnak minősül [1].
- Reefers. A hőmérséklet-szabályozott konténer általános elnevezése, amely lehet kisteherautó, félpótkocsi, furgon vagy szabványos ISO-konténer. Ezekben a konténerekben egy csatlakoztatott és független hűtőberendezés tartja fenn a hőmérséklet szabályozott légáramlást [1].

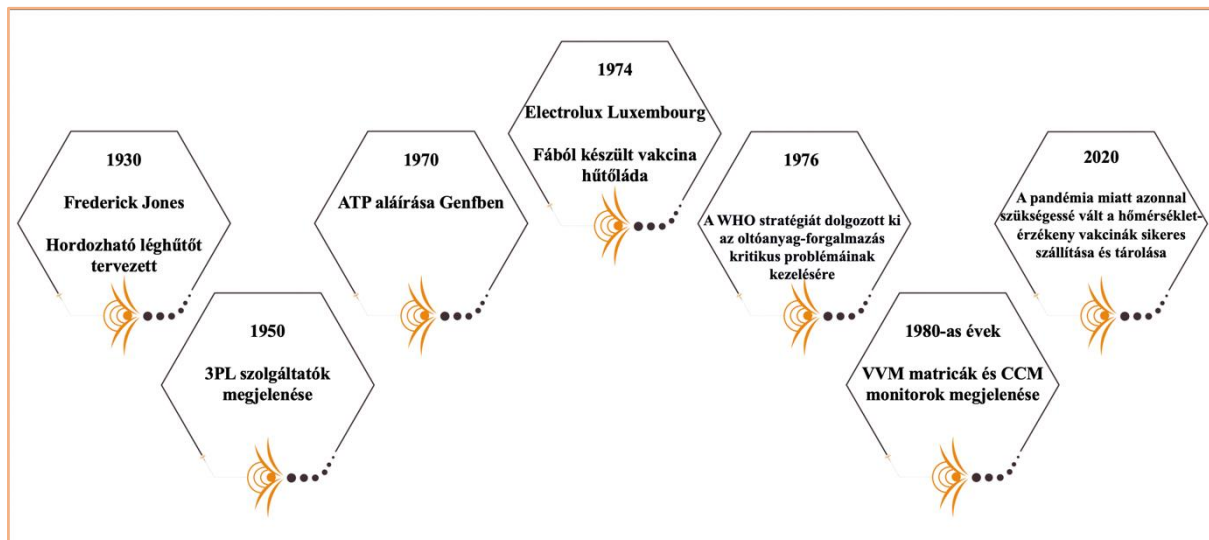
Csoportosítani a járművek alapján is lehet. Természetesen, nem minden szállítóeszköz alkalmas romlandó áruk szállítására. A törvényben meghatározott állandó hőmérséklet ellenőrzésének feladata révén meg lehet különböztetni a következő típusú fuvarozókat:

- Hideg hordozó. Olyan hűtési technológiával rendelkezik, amely lehetővé teszi a belső hőmérséklet csökkentését és a jármű típusától függően mindig +12°C és -20°C közötti tartományban tartását [3].
- Izotermikus hordozó. Szigetelő falakkal ellátott fülkével rendelkezik, beleértve a padlót, az ajtókat és a tetőt is. Ennek köszönhetően a belső és a külső tér közötti hőcsera jelentősen csökken [3].
- Hűtött hordozó. Olyan járműtípus, amely segít csökkenteni az utastér belső hőmérsékletét és +30°C és -20 °C közötti külső átlaghőmérsékleten tartani azt [3].
- Hőhordozó. Olyan berendezéssel rendelkezik, amely hőt termel és növeli a belső tér hőmérsékletét. Ezt 12 órán keresztül állandó hőmérsékleten tartja és soha nem csökken +12°C alá [3].

Hűtőkocsis szállításra szolgáló járműveknél figyelembe kell venni a kapacitást, a súlyt és a méretek korlátozását, az üzemanyag és a biztonság optimalizálásának szükségességét. Ezenkívül minden járműnek mindig be kell tartania a romlandó áruk szállításáról szóló nemzetközi megállapodás (Agreement on the Carriage of Perishable Goods - ATP) által meghatározott előírásokat. A "Megállapodás a romlandó élelmiszerek nemzetközi fuvarozásáról és az ilyen szállításához használandó különleges felszerelésekről" (ATP) 1970 szeptemberében Genfben került aláírásra. Az előírások meghatározzák, hogyan kell szállítani a romlandó élelmiszereket, milyen követelményeknek kell megfelelniük a speciális járműveknek, illetve milyen ellenőrzési eljárásokkal kell biztosítani a megfelelőséget. A cél az,

hogy a végső fogyasztó számára garantálják, hogy az élelmiszer megfelelő körülmények között érkezik meg. 2016 óta 50 országban van érvényben, amelyek többsége Európában vagy Közép-Ázsiában található [3].

A cold chain fejlődésének jelentősebb történéseit az 1. ábra mutatja be:



1.ábra: A cold chain fejlődése [saját szerkesztés]

Ahogy említettem hőmérséklet-érzékeny (esetleg romlandó) árukat hűtőkonténerekben (úgynevezett "reefers"-ben) szállítják, amelyek a világszerte szállított hűtött rakományok egyre nagyobb részét teszik ki. A tengeri hajózásban 1980-ban a hűtőkapacitás 33%-a volt konténeres, majd 1990-re 47%-ra, 2000-re 68%-ra, 2010-re pedig 90%-ra emelkedett. 2019-ben közel 23 millió TEU (Twenty-foot Equivalent Unit) hűtőhajót használtak! Azért, hogy minél kevesebb napenergiát nyeljen el a konténer, ezért ezeket fehérre festik. Egy alacsony albedójú (ez az aránya a beeső fénynek) konténer belső hőmérséklete $+25^{\circ}\text{C}$ -os külső hőmérsékletkor elérheti a $+50^{\circ}\text{C}$ -t, míg egy magas albedójú konténer belső hőmérséklete ugyanezen körülmények között csak $+38^{\circ}\text{C}$ -ra emelkedik [1].

A hűtőkamionok hűtőegységeinek célja a hőmérséklet egy előre meghatározott tartományon belül tartása, nem pedig a hűtés! Azaz, mielőtt berakodnánk a szállítmányt a hűtőkamrába, előtte a kívánt hőmérsékletre kell azt hozni. Természetesen ez speciális be- és kirakodási, illetve raktározási megoldásokat igényel. Manapság a hűtőkocsik is egyre modernebbek, érzékelőkkel vannak felszerelve, melyek figyelik a hőmérsékletet és ha szükséges lekapcsolják a hűtőberendezést. Ennek köszönhetően a hőmérséklet-szabályozás megbízhatóságának javítása és a hűtőkocsi autonómiájának kiterjesztése lehetővé válik. Fontos változás éri a kikötőket is, hiszen a teljes terminálkapacitásuknak 1-5%-át a hűtőkocsiknak kell szentelniük. Ez azonban

nagyon munkaigényes és sok a hibázási lehetőség, mert lehet, hogy csak egy konnektorra van szükség, azonban minden konténert kézzel kell csatlakoztatni és leválasztani. Továbbá a hőmérsékletet is rendszeresen ellenőrizni kell és az adott kikötő vezetőjének a felelőssége, hogy a hűtőszekrények hőmérséklete az előre beállított tartományokon belül maradjon. Még ha a hűtőkamionok magasabb kikötői költségekkel is járnak, az általuk szállított nagy értékű áruk miatt nagyon jövedelmezőek [1].

Egy szállítmánynak az ellátási láncon keresztül történő mozgatása egy átfogó logisztikai folyamat kialakítását igényli. Ez a folyamat több fázist érint, a szállítmányok előkészítésétől a küldemény sértetlenségének végső ellenőrzéséig a kézbesítési ponton:

- A szállítmány előkészítése. Ha egy hőmérséklet-érzékeny terméket szállítanak, először is létfontosságú, hogy felmérjék annak jellemzőit. Az egyik legfontosabb kérdés a szállítmány hőmérsékletének kondicionálása, amelynek már a kívánt hőmérsékleten kell lennie. Ahogyan ez említésre került a dolgozatban, a hűtési lánc-berendezéseket általában arra tervezték, hogy állandó hőmérsékletet tartsanak, tehát ha a szállítmány nincs megfelelően előkészítve (nincs a szállítási hőmérsékleten), akkor nem tud rendesen működni. Problémát okozhat a szállítmány rendeltetési helye és az adott régiók időjárási viszonyai, például az, hogy a szállítmány a szállítási útvonal mentén ki lesz-e téve extrém hidegnek vagy hőségnek [1].
- A szállítási mód kiválasztása. Több szempontot figyelembe kell venni, mikor a szállítási mód kerül választásra. Ilyen például a kiindulási és a végső célállomás közötti távolság, a küldemény mérete és súlya vagy a termékre vonatkozó időbeli korlátozások mind befolyásolják a rendelkezésre álló szállítási lehetőségeket. Rövid távolságok egy furgonnal vagy teherautóval is megoldhatók, míg egy hosszabb út repülőgépet vagy konténerszállító hajót igényelhet [1].
- Egyedi eljárások. Ha a szállítmány átlépi a határokat, a vámeljárások nagyon fontosá válhatnak, mivel a hűtési lánc termékei általában időérzékenyek és jobban ki vannak téve az ellenőrzésnek, mint a hagyományos szállítmányok. Ennek a feladatnak a nehézsége országonként változik, mivel az eljárások és a késedelmek eltérnek egymástól [1].
- Az "utolsó mérföld". Az utolsó szakasz a küldemény tényleges célba juttatása, amelyet a logisztikában gyakran "utolsó mérföldnek" neveznek. Az utolsó szállítás megszervezésekor az időzítésre is nagy figyelmet kell fordítanunk. Ebben a szakaszban

a szállítást teherautókkal és furgonokkal oldják meg. Szintén fontos a szállítmány végső átadása a tárolóhelyiségekbe, mivel fennáll a sértetlenség megsértésének lehetősége [1].

- Integritás és minőségbiztosítás. A szállítmány kiszállítása után a hőmérsékletet rögzítő eszközöket fel kell jegyezni és közölni kell. Ez a logisztikai folyamatnak az a lépése, amely bizalmat és elszámoltathatóságot teremt, különösen akkor, ha megsérült a szállítmány. Abban az esetben, ha szállítmányt veszélyeztető problémák lépnek fel, akkor meg kell keresni ezen problémák forrását és korrekciós intézkedések szükségesek [1].

Ahogy az látható, egyes hűtési láncok beállítása és működtetése attól függ, hogy mit szállítunk. Hiszen minden szállítandó rakományegységnek eltérő követelményei vannak az igénybevétel, a rakomány és a szállítás sértetlensége tekintetében.

3. A cold chain fejlődése a Covid-19 pandémia alatt

A pandémia legyőzésében nagy szerepet játszottak a vakcinák, melyek forgalmazásának megvalósítása problémát jelentett a cégeknek. Hiszen, ahogyan már többször említésre került, ezen vakcinákat különösen alacsony hőmérsékleten kell tárolni, azonban a világjárvány előtt sok kórház nem rendelkezett megfelelő hűtőtároló létesítményekkel vagy képességekkel, ami miatt a vakcinagyártók megkérdőjelezték, hogy képesek-e megfelelően tárolni a terméket. Később kiderült, hogy a gyógyszeriparnak a vakcinák tömeges terjesztésére volt szüksége azért, hogy ösztönözze az innovációt és kezdeményezéseket hozzon létre a hűtési láncok, illetve az alacsony hőmérsékleten szabályozott ellátási láncok fejlesztésére. A több mint félmilliárd COVID-19 vakcina biztonságos kezelésének, kiszállításának és beadásának biztosítása az Egyesült Államokban kevesebb, mint két év alatt példátlan logisztikai teljesítmény volt. A Pfizer-BioNTech és a Moderna két engedélyezett mRNS-vakcinájának terjesztése azonban különösen nagy kihívást jelentett, tekintettel az oltóanyagok extrém hőmérséklet-szabályozási követelményeire. A hűtési láncokkal kapcsolatos komplikációk eddig is ismertek voltak, azonban a világjárvány miatt kellett ezeket a problémákat sürgősen megoldani [4][5]. A kérdés adott: mely területek szorultak fejlesztésre?

Bár a hideg ellátási láncok hasonlóan működnek, mint a hagyományos ellátási láncok, a hőmérséklet-ellenőrzés összetettebbé válik. Ezért nem meglepő, hogy ezen hűtési láncok egyik fő problémája a megfelelő és folyamatos hőmérséklet-ellenőrzés hiánya. Ebben az esetben éjjel-nappal működő hőmérséklet-ellenőrző rendszerekre van szükség, amelyek azonnal riasztják a forgalmazót, ha bármilyen probléma merül fel. Ez az alacsony hőmérsékletű tárolás nem csak a COVID-19 vakcinákra vonatkozik, hanem más életmentő gyógyszerekre is, illetve vérszolgáltatónál is, ahol elengedhetetlen, hogy a hűtőházak mindig megfelelően működjenek, mivel az olyan biomolekulákat, mint a DNS, -80°C kell tárolni. Természetesen sok speciális gyógyszerterméket kell kettő és nyolc Celsius-fok között tárolni, ezért ennek az iparágak folyamatosan fejleszteni kell a meglévő módszereket vagy újakat tervezni, annak érdekében, hogy a hőmérséklet-érzékeny anyagoknak hatékony legyen a szállítása, nyomon lehessen követni és tárolható legyen [4].

A hőmérséklet-érzékeny termékek szállítása során sokszor problémát okozott az, hogy nem tudták időben kiszállítani a terméket, így az megromlott és a gyógyászati hulladék is megnövekedett. Egy 2021-es ENSZ jelentés szerint 1 milliárd COVID-19 oltóanyagot lehetett volna megmenteni hatékonyabb hűtési lánc-folyamatokkal. Továbbá előfordult, hogy a szerződéseket úgy kellett aláírni, hogy csak korlátozott információk álltak rendelkezésre az

oltóanyag mennyiségéről, arról, hogy melyik elosztóközpont fogja szállítani és a célországról. A beszállítók hamar megértették, hogy a just-in-time nem fog működni a COVID-19 vakcinák esetében. A szállításban végül, az 1950-es években megjelenő, harmadik fél logisztikai vállalatoknak volt nagy szerepe. Az indok ismételten az volt, hogy a harmadik fél logisztikai vállalatoknak a hűtési lánc-logisztikához speciális szakértelmük van, ismerik a helyi szabályokat, vámokat, valamint az áruk szállításának időtartamáról alkotott elképzelésük miatt nagyszerű erőforrást jelentettek [4] [5].

A szállítmányozási vállalatokhoz hasonlóan a kórházak és más egészségügyi intézmények is igyekeztek megfelelő hűtőtároló létesítményeket kialakítani. Ahogyan már említettem, a pandémia előtt sok kórház nem rendelkezett megfelelő hűtőházzal, ami korlátozta a vakcinák tárolását. Ennek eredményeképpen a COVID-19 országos hűtőházihiányt okozott és a gyártók kreatív megoldásokat kerestek a termékek elhelyezésére, például az egyetemi kampuszok kutatási létesítményeiben. Sajnos azonban néhány gyártó elkövette azt a hibát, hogy feltételezte, hogy minden forgalmazó rendelkezik megfelelő hűtési lánc-képességgel, így később fokozottan figyeltek a megfelelő forgalmazók kiválasztásakor [4].

A Healthcare Distribution Management Association (ez azokat a vállalkozásokat képviseli, amelyek gyógyszereket, orvostechnikai eszközöket és egészségügyi szolgáltatásokat szállítanak a betegeknek, gyógyszertáraknak, kórházaknak, orvosoknak és a gyógyszeriparnak) jelentése szerint az összes gyógyszer körülbelül 10 százaléka hőmérséklet-érzékeny és ez a szám az elkövetkező években valószínűleg növekedni fog [4]. A gyártóknak és a forgalmazóknak fontos felismerniük, hogy a cold chain fejlesztése nélkül a logisztikai problémák és a termékpazarlás miatt a gyógyszerárak emelkedni fognak. Végző soron a hidegellátási láncok és a hőmérséklet-ellenőrzés fejlesztései mind a vásárló, mind a fogyasztó számára megfizethetőbb gyógyszereket eredményeznek és mindenki számára javítják az alapvető gyógyszerekhez való hozzáférést.

Bár a világjárvány minden bizonnyal felgyorsította az innovációt, a további orvosi fejlesztésekkel és a szigorúbb hőmérséklet-ellenőrzési követelményekkel elérhetővé váló génterápiákkal biztosan folytatódni fog a fejlődés.

Szokás mondani, hogy minden rosszban van valami jó, ezért összegzem mit is tanulhatott az emberiség a hőmérséklet-szabályozással kapcsolatban a COVID-19 vakcinák kezdeti, "válsághelyzetben" történő szétosztásából és mi az, ami folyamatosan - és a lehetséges jövőbeli válsághelyzetekben - alkalmazható?

Ahhoz, hogy egy hullámra minél gyorsabban lehessen reagálni, elengedhetetlen az oltóanyaggyártók, a kormányok és forgalmazók közötti kommunikáció. Ha ez a kommunikáció jól működik, akkor a koordinálás is sokkal hatékonyabb és gyorsabb tud lenni. Ranjeet Banerjee, a Cold Chain Technologies vezérigazgatója kiemelten fontosnak tartja, hogy a digitális képességeink sokkal inkább előrejelzővé váljanak, hiszen így jobban garantálható a betegek biztonsága. Ennek érdekében a Cold Chain Technologies 2021 közepén elindított egy digitális platformot, amely javította képességét a valós idejű hely- és állapotfigyelésre minden szállított gyógyszer esetében, amit folyamatosan új funkciókkal bővítenek, hogy az utolsó fázis is zökkenőmentes legyen. Ez segít abban, hogy ha például van egy termék, amelynek szállítási késedelme van és még el is akad egy reptéren, akkor ez a platform meg tudja jósolni automatikusan, hogy ez a késedelem releváns lesz-e és ha releváns, mik a beavatkozási lehetőségek [5].

Érdekesség, hogy a Cold Chain Technologies jelenleg a sejt- és génterápiás piacra szánt új, hőmérséklet-szabályozott csomagolási megoldások sorozatait vezette be, amelyek tervezésénél a COVID-19 vakcina bevezetésének tapasztalatait is figyelembe vették.

4. A Covid-19 vakcinák csomagolása, tárolása és szállítása

Miután több szempontból is megvizsgáltam a hűtési láncot, szeretném összefoglalni, hogy mit is tudunk a vakcinák csomagolásáról, tárolásáról, szállításáról és elosztásáról. Majd azon leggyakoribb vakcinákat szeretném bemutatni, melyeknek nagyon speciális csomagolási követelményei vannak, mind a tárolást és a szállítást illetően. Az elsődleges csomagolóanyagok közé tartoznak az üveg fiolák és fecskendők, valamint a dugók és tömítések. A forgalmazáshoz nagyon fontos a másod- és harmadlagos csomagolás. A másodlagos csomagolás segít a mennyiség csökkentésében, a költségmegtakarításban, a logisztikai terhek minimalizálásában és az szénlábnyom csökkentésében. A harmadlagos csomagolás a szállításnál játszik fontos szerepet, hiszen ez arra szolgál, hogy megvédje mind a terméket, mind az alatta lévő csomagolást, amikor az egyik rendeltetési helyről a másikra szállítják [9].

A tárolást illetően készítettem egy összefoglaló táblázatot:

Vakcina állapot	Tárolási és szállítási hőmérséklet	Ajánlott tárolási időtartam
Bontatlan, fagyasztott fiola	-90°C és -60°C	A gyártástól 9 hónap vagy a fiolán jelzett lejárat dátum
	-25°C és -15°C	Legfeljebb 2 hétig a vakcina 9 hónapos időtartamán belül
Bontatlan, felolvasztott fiola	+2°C és +8°C (nincs újra fagyasztás)	30 nap/ 1 hónap
Hígított vakcina	+2°C és +8°C	6 óra az első szűrástól
Hígító	Szobahőmérséklet, de nem haladja meg a +30°C-t. Vakcinázáskor +2°C és +8°C között tartjuk.	Lejárat dátumig

2.ábra: Vakcinák tárolása [saját szerkesztés]

Látható, hogy 3 különböző állapotot vizsgáltam meg a tárolási és szállítási hőmérséklet és a tárolási időtartam alapján. Felmerülhet a kérdés, hogy a hígítót miért is vettem számításba, ezért most ezt tisztázni szeretném. A Pfizer BioNTech COVID-19 vakcinája hígítást igényel, melyet a vakcinába való fecskendezést követően vissza kell tenni a hűtőbe (+2°C és +8°C közé) és 6 órán belül fel kell használni. Ezt a hígítót a vakcinától külön küldik, 16 x 25 üvegcsét tartalmazó dobozban (10 ml). A hígítószer nem tartósított 0,9%-os nátrium-klorid oldatos injekció; 6 adagonként 1,8 ml hígítószer szükséges. Mivel a fény negatív hatással van az

oltóanyagokra, ezért tárolás során a vakcinákat az eredeti csomagolásban kell tárolni, hogy védjük a fénytől, valamint minimalizálni kell a szobafénynek való kitettséget (felolvasztott üvegek szobai fényviszonyok között már kezelhetők) és nem szabad a napfénynek és az ultraibolya fénynek kitenni ezeket [10].

Most pedig kettő tárolási lehetőséget szeretnék bemutatni; a Softboxot és az ULT fagyasztót.

A Pfizer kifejlesztett egy úgynevezett Softboxot, amiben a vakcináit lehet tárolni és ezt a 3. ábrán láthatjuk. Ezek olyan termikus szállítótartályok, melyek többször újrahasználatosak, szárazjéggel vannak feltöltve és beépített hőmérséklet-nyilvántartóval vannak felszerelve. Ha teljesen fel van töltve szárazjéggel (érkezéskor és 5 naponta újra kell tölteni) és kevesebb, mint napi kétszer van kinyitva a doboz kevesebb, mint 5 percre, akkor a Softbox akár 8 napig is tudja az ultraalacsony hőmérsékleti körülményeket tartani. Mindegyik Softbox legfeljebb öt tálca vakcinát tartalmaz, összesen 4875 adagot. Minden egyes tálca 195 injekciós üveget tartalmaz. A dobozok súlya 1,5 kg, így a teljes terhelés súlya ~36,5 kg. Ennek a tárolási módnak az előnye, hogy nincs energiafogyasztás és könnyen szállítható, illetve kezelhető. A Pfizer által biztosított egyedi Softboxot a kézhezvételtől számított 20-30 napon belül vissza kell küldeni [10].



3.ábra: Pfizer Softbox [saját szerkesztés]

A második lehetőséget, azaz az ULT-fagyasztót a 4. ábrán szemlélhetjük meg. Ezek a fagyasztók nagy oltóanyag-tárolási kapacitással rendelkeznek, ami 25-800 litert jelent. Vakcinákat és fázisváltó anyagokat (víz/jég csomagok, szárazjég) tárolnak benne. Van egy hőmérsékleti kijelzője, melyen leolvasható a tényleges és a beállított pont, továbbá nagyon magas/alacsony hőmérsékletnél riaszt és távvezérléssel javítható a probléma. A Softboxszal

ellentétben ez folyamatos áramellátásra szorul és légkondicionált környezetre van szüksége, hogy működni tudjon.



4.ábra: ULT-fagyasztó [10]

A következő témakör, amit vizsgálni fogok az a szállítás légi, tengeri és szárazföldi utakon, illetve az elosztás. Elsőként az oltóanyaggyártóknak meg kell felelniük az Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hatóság és a Szövetségi Élelmiszer-, Gyógyszer- és Kozmetikai Törvény előírásainak. Mivel az oltóanyagokat közegészségügyi vészhelyzet esetén történő felhasználásra engedélyezték, a sürgősségi felhasználási engedélyt (EUA- Emergency Use Authorization) kiadó hatóság ezután egy engedélyező levelet ad ki [9].

A hűtési lánc szállítási folyamatokban beszélhetünk feladóról, szállítmányozóról, légi és közúti áruszállító vállalatokról, valamint fogadóról. Ezek egy kockázatkezelési munkacsoporton belül működnek együtt, ahol a környezetvédelemért és biztonságért, a kommunikációért, valamint az ellátási lánc irányításáért felelnek. A Nemzetközi Légi Szállítási Szövetség (IATA – International Air Transport Association) és tagjai felelősek a vakcinaszállítmányok szállításáért az ellátó országtól a rendeltetési repülőtérig. A technikai problémák és a repülőút során a hűtőszekrények áramellátásának kezelésére több személyzet is ki van képezve. Ahogy megérkezett a szállítmány a repülőtérre, onnantól kezdve a szállításáért egy helyi közúti fuvarozócég felel, akik hűtőkamionokkal biztosítják az oltóanyagok raktárba történő eljuttatását és a megfelelő hőmérséklet fenntartásáért is ők a felelősek [9].

Fontos volt az egészségügyi intézményekben a hűtési lánc-berendezések kapacitásának fejlesztése, hiszen például Etiópiában az egészségügyi intézményeknek csak 48%-a

rendelkezett kielégítő hűtési lánc-infrastruktúrával. Indiában napelemes fotovoltaiikus energiával működő mikrohűtőtárolót terveztek, melyet Covid-19 vakcinahordozóként használtak sikeresen vidéki területeken. Ázsiában probléma volt a helyi szervezetekkel való nem megfelelő koordináció, a vakcinákat felügyelő szervek hiánya, a vakcinák hőmérsékletének nyomon követése és ellenőrzése, valamint a vakcinák beszerzéséhez szükséges pénzügyi támogatás is. Így láthatjuk mennyi nehézsége volt a szállítás kialakításának [9].

További aggodalomra adott okot az, hogy a fogadó országoknak a mélyhűtött gyártási, tárolási és szállítási hálózatainak nem megfelelő jelenléte - különösen a Pfizer vakcinák esetében - korlátozta a forgalmazók kapacitását az alacsony és közepes jövedelmű országokba történő szállításában. A meleg éghajlatú régiók és a városok közötti gyenge összeköttetés is akadályokat jelentett a hőmérséklet-érzékeny biológiai szerek lakossághoz való eljuttatásában. Peruban például 30 ultrahideg fagyasztó állt rendelkezésre, de Lima városán kívül egy sem. Ezeknek a speciális fagyasztóknak az előállítása 4-6 hetet vesz igénybe, illetve 10000 és 25000 dollár közötti összegbe kerülnek. Persze ezen probléma megoldására felmerült az, hogy a tárolókat 5 naponta szárazjéggel töltsék fel, hogy a hőmérsékletet stabilan tartsák, de ez azért nem volt praktikus megoldás, mivel nem feltétlen van megfelelő mennyiségű szárazjég vidéken, illetve a szárazjég szublimálódik és szén-dioxid gázzá alakul, ezért költséges és veszélyes a szállítása [9].

A hőmérséklet-ellenőrzés folyamata nagyon fontos a vakcinaszállítás során, mégis nagy kihívást jelent/ jelentett az emberiség számára. Hogyan is végezhető a hőmérséklet-ellenőrzés? Elsőként adatnaplók használata könnyíti meg ezt a folyamatot, azonban ahhoz, hogy ez hatékonyan működjön, a csomagot - amiben az oltóanyagok vannak – fel kell nyitni, hogy figyelemmel lehessen kísérni a körülményeket. Ez azért baj, mert már korábban is említettem, hogy ha folyamatosan kinyitogatják a dobozokat, azzal az oltóanyagokat szélsőséges hőmérsékletnek teszik ki, ezzel pedig veszélyeztetik a hatékonyságát [9].

A pénzügyi korlátok ellenére, a mai mesterséges intelligencia korszakában a dolgok internetének (IoT – Internet of Things), a mobil- és felhőtechnológiáknak a megjelenése megteremtette az alapot egy átfogó hűtési lánc-visszacsatolási mechanizmushoz. Ez ma lehetővé teszi a rutin és az ad-hoc jellegű adatgyűjtést, rögzítést, ellenőrzést és elemzést az oltóanyagok gyártástól az egészségügyi létesítményekig tartó áramlásáról. A vakcinadokumentációs csalások megakadályozására a blokkláncrendszer és a szimulált gépi tanulási technológiák jelentettek egy előrelépést, mivel ezeknek köszönhetően csökkenteni

lehet az ellátás során fellépő kockázati tényezőket. Szintén használatosak a digitális hőmérséklet-érzékelők, például a termisztorok, az ellenálló hőmérséklet-érzékelők vagy a termoelemek, melyek pontos adatokat szolgáltatnak. Egyes oltóanyag-ampullákba oltóanyag-ampullamonitor van beépítve, amely egyértelmű, vizuális útmutatást nyújthat az oltóanyag hatékonyságáról a szállítás vagy a beadás helyére történő szállítás során. Ezenkívül a monitor képes figyelmeztetni a személyzetet arra, hogy az oltóanyag stabilitása a forgalmazás bármely szakaszában sérült-e, mielőtt a végfelhasználóhoz eljutna. Ez segít abban, hogy megelőzzük a szükségtelen pazarlást és megkönnyíti az oltási programokat a távoli területeken, ahol a kifinomult megfigyelési technológia nem elérhető [9].

4.1. Comirnaty, a Pfizer- BioNTech vakcinája

A vakcinák közül a Pfizer mRNS-vakcina rendelkezik a legszigorúbb tárolási igényekkel, mivel $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os ultrahideg fagyasztóban kell tárolni. A Pfizer 5 adagot tartalmazó, 2 ml-es, tartósítószermentes injekciós üvegbe csomagolva (szigorúan odafigyelve arra, hogy ne legyen repedezett az üveg), 195 db injekciós üvegből álló tálcákba kerül kiszállításra. A szállítmányozás során mindig öt, 4 875 adagot tartalmazó tálca lesz és ezeket szárazjéggel kell csomagolni, így az összsúly körülbelül 36,5 kg. A külső csomagolás felnyitása nélkül minden egyes szállítmány akár 10 napig is tárolható. Ha melegebb éghajlaton történik a tárolás, akkor a szárazjegeket feltöltik és ebben a helyzetben gyakrabban nyitják ki a szállítmányt, hogy ellenőrizzék az injekciós üvegeket. Az előírt hőmérsékleti tartományon belüli szállítás érdekében GPS-képes hőmérséklet-ellenőrző eszközöket helyeznek el a szállítmányokban. A szállítmány megérkezésekor a vakcinákat 5 percen belül ultrahideg fagyasztókban kell elhelyezni. A vakcinákat felolvasztva hűtőszekrényben ($+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$) legfeljebb 5 napig (120 óra) lehet tárolni, ezt követően ki kell dobni. A felhasználás előtt normál sóoldattal kell hígítani az adagokat, melyek szobahőmérsékleten 6 óráig hatékonyak utána pedig gyógyszerhulladékként kezelendő. Annak érdekében, hogy ne csak ilyen nagyon alacsony hőmérsékleten lehessen tárolni ezen fajta vakcinát a Pfizer - BioNTech nemrégiben adatokat nyújtott be az Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hatósághoz (FDA – Food and Drug Administration) a tárolási követelmények aktualizálása érdekében, hogy azok ésszerűbb, $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékletre módosuljanak. Dokumentáció érdekében a Pfizer minden injekciós üvegre egy QR kódot helyezett el, amelyet, ha beolvasunk az Emergency Use Authorization (EUA) weboldalához irányít minket, továbbá minden üvegen leolvasható a tételszám és a lejárat dátum is [9].

4.2. Moderna

A Comirnatyhoz hasonlóan ez a vakcina is mRNS alapú. A Modernát kartondobozonként, 10 db 10 adagot tartalmazó injekciós üvegbe csomagolva, - 20°C-os hőmérsékleten szállítják. Ezen vakcinák egyik előnye, hogy nincsenek különleges követelmények az előkészítésre és a Pfizer vakcinájával ellentétben, ezek a vakcinák akár 30 napig is tárolhatók hűtőszekrényben +2 és +8°C között. A Moderna szobahőmérsékleten a felolvasztás után kétszer annyi ideig hatékony, mint a Comirnaty, azaz 12 órán át is felhasználható majd ezt követően ki kell dobni. Ezen vakcinák injekciós üvegén szintén elhelyeztek egy QR kódot, mely leolvasás esetén az EUA weboldala látható. Ebben az esetben viszont a weboldal fogja tartalmazni a termékinformációkat, azaz a tételszámot és a lejárat dátumot. A dobozon, amelyben szállították az oltóanyagokat, szintén ugyanez a QR van feltüntetve, valamint egy 2D vonalkód is rá van nyomtatva, mely a GTIN-t, a lejárat dátumot és a tételszámot is magába foglalja.

4.3. AstraZeneca

Az AstraZeneca az előző 2 vakcinával ellentétben nem mRNS alapú, hanem vírusvektor vakcina. Az oltóanyagot raklapokon szállítják, melyek 85 ládát tartalmaznak, 20 400 injekciós üveggel csomagolva. Kartondobozonként 10 ampulla 100 adagot tartalmaz. Az AstraZenecát érkezés után +2°C-os hűtőben kell tárolni (tilos lefagyasztani), ahol legfeljebb 6 hónapig tárolható (utána ki kell dobni), továbbá fontos, hogy a fénytől védeni kell. A fényhatás elkerülésének érdekében a vakcinát egészen a felhasználásig az eredeti csomagban kell tartani. Egyik előnye, hogy ehhez a készítményhez nincs szükség rekonstitúcióra vagy speciális előkészítésre [9].

4.4. Janssen

A Janssen szintén vírusvektor vakcina A vakcinát dobozonként 10 injekciós üvegben és 48 dobozban, -20°C-os hőmérsékleten szállítják. Minden egyes csomagolóeszköz 2400 adagot tartalmaz, minden injekciós üvegben öt adaggal. A Johnson & Johnson vakcináját érkezéskor hűtőszekrénybe kell tenni és nem kell hígítani. Hűtőszekrényben (+2-+8°C) legfeljebb 3 hónapig tárolható [9].

4.5. Szputnyik V

Ez szintén egy vektor alapú oltóanyag. 0,5 ml-es egyadagos ampullaként szállítják, felolvasztás után azonnal felhasználandó, ha többadagos injekciós üveg, akkor fel kell olvasztani és azonnal fel kell használni, mivel 2 órán túl nem hatékony. Fagyasztott állapotban

6 hónap az eltarthatósági ideje, -18°C -on és a pontos lejárati idő a címkén, illetve a csomagoláson is fel van tüntetve. Az újrafagyasztás nem megengedett [11]!

4.6. Sinopharm

A Sinopharm Kína inaktivált vírus elleni vakcinája, melyet a WHO sürgősségi felhasználásra engedélyezett. A vakcina 12 hónapig tárolható a hűtőszekrényben $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten, szobahőmérsékleten pedig legfeljebb $+25^{\circ}\text{C}$ -on. Tilos a fagyasztása és nem szabad, hogy napfény érje [12].

5. Az ultraalacsony hűtési láncú (UCC) rendszer kialakítása

Amikor az országok UCC (ultra cold chain) rendszereket akarnak kialakítani, fontos szem előtt tartaniuk, hogy a fő cél azon prioritást élvező csoportok elérése és beoltása, melyeket a Stratégiai Szakértői Tanácsadó Csoport (Strategic Advisory Group of Experts - SAGE) ajánl, figyelembe véve a szükségleteiket, erőforrásaikat és kapacitásaikat.

Azok az UCC rendszerek melyeket említeni fogok, úgy vannak kialakítva, hogy minimalizálva vannak az UCC infrastruktúra követelményei, de eközben lehetővé teszik a vakcinához való szélesebb körű hozzáférést és az oltóanyag elterjedését jelentős UCC-beruházás nélkül [7].

Ha ezeket az elveket figyelembe veszik az országok, akkor a következő lehetőségek közül tudnak választani: lépcsőzetes (kaszád) elosztási stratégia vagy gyors vakcinaelosztási stratégia.

5.1. Lépcsőzetes (kaszád) elosztási stratégia

Ebben az esetben egy központi UCC központból jutnak el az oltóanyagok a megfelelő hűtési lánc felszereltséggel rendelkező szubnacionális raktárakba. Ezek a raktárak úgy tárolják az oltóanyagokat, hogy a lehető legnagyobb mértékben növelik azoknak a hátralévő eltarthatósági idejét [7].

Ezt a stratégiát olyan országokban alkalmazzák, ahol a körzetek messze vannak a központi raktártól, mint pl. a szigetvilág és a nagy országok. Ennél a stratégiánál feltételezhető, hogy az immunizálást (a szervezet védettségének kialakítása a kórokozókkal és egyéb idegen anyagokkal szemben védőoltás által) a főközpontban és a másodlagos helyszíneken végzik [7].

A lépcsőzetes elosztási stratégia előnyei közé tartozik, hogy költséghatékony, mivel az UCC-beruházás a központi áruháza és a stratégiai elhelyezkedésű területekre korlátozódik, továbbá a meglévő kettős hőmérsékletű tárolókapacitást (-20°C , $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérséklet) maximalizálja az alacsonyabb raktárszinteken. Hátrányai közé tartozik, hogy lassú a vakcinaelosztási mechanizmus ezzel a módszerrel, illetve, ha az oltóanyagot hosszabb ideig tartják szubnacionális raktárakban, ezáltal késleltetik, hogy eljusson a szolgáltatási pontokra, akkor ezzel az eltarthatósági idő tovább csökkenésének kockázata nő. Szintén ide sorolható az, hogy mivel többszintű a szállítás, ezért magasabb a szállítási költség is, a tárolás/szállítás során a hőhatásnak való kitettség miatt vakcinapazarlás történhet és hátránya ennek a stratégiának, hogy sokkal jobban oda kell figyelni az oltóanyag mozgásának és a fennmaradó eltarthatósági időnek a gondos nyomon követésére [9].

Az UCC központ(ok) létrehozására a kaszkád elosztási stratégia támogatása érdekében kettő mód közül választhatunk: egyetlen, centralizált UCC központú vagy többszörös UCC központú.

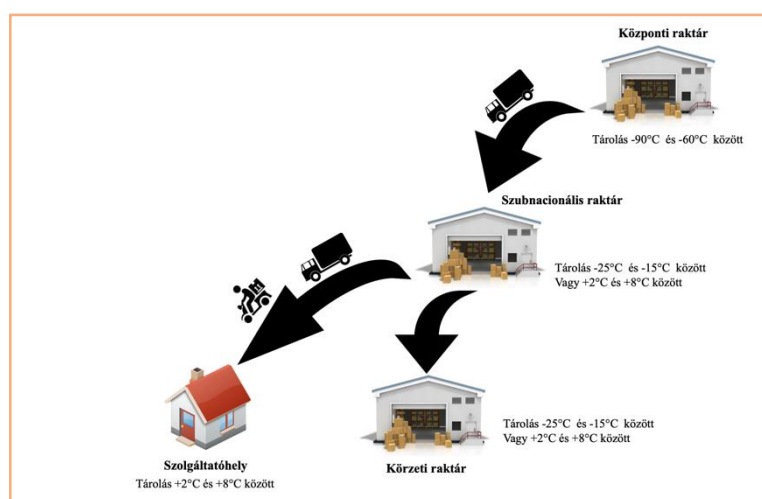
5.1.1. Egyetlen, centralizált UCC központ

Centralizált központ esetében az oltóanyag-készletet a beszállítás után közvetlenül a hőszigetelt konténerből a központi oltóanyagraktárban lévő ULT-fagyasztókba helyezik át. A központi raktárból az oltóanyag-készletet -90°C -tól -60°C -ig vagy -25°C -tól -15°C -ig fagyasztva, illetve $+2^{\circ}\text{C}$ -tól $+8^{\circ}\text{C}$ -ig felolvasztva lehet eljuttatni a szubnacionális raktárakba [7].

Előfordulhat, hogy a szubnacionális raktáraknak kisebb mennyiségben újra kell csomagolniuk a vakcinakészletet és közvetlenül kell a szolgáltatási pontokra eljuttatniuk -25°C -tól -15°C -ig vagy $+2^{\circ}\text{C}$ -tól $+8^{\circ}\text{C}$ -ig attól függően, hogy milyen a hűtési lánc felszereltség (CCE – Cold Chain Equipment), mekkora a kapacitás a hűtőcsomagok előállítására, illetve mennyi a szállítási idő [7].

A $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten történő szállítás esetén az utazási idő korlátozására vonatkozó ajánlásnak megfelelően az országok megfontolhatják a vakcina -25°C és -15°C közötti hőmérsékleten történő fagyasztott szállítását olyan helyekre, ahol a vakcina szállítása 12 óránál tovább tarthat. Azonban fontos, hogy a vakcinát -25°C és -15°C közötti hőmérsékleten szállítani és tárolni csak egyszeri, 2 hétnél nem hosszabb ideig lehet [7].

Egy ilyen telepítést mutat be az 5. ábra:



5.ábra: Centralizált UCC központ [saját szerkesztés]

5.1.2. Többszörös UCC központ

Ennek a módszernek az alkalmazása során az oltóanyagot közvetlenül a hőszigetelő tartályokból a központi oltóanyagraktár ULT-fagyasztójába szállítjuk, hogy korlátozott ideig ULT körülmények között tárolják. Ez az oltóanyag-készlet felhasználható a szubnacionális UCC-központok -90°C és -60°C közötti hőmérsékleten fagyasztott oltóanyaggal történő ellátására és/vagy a hozzáférhető körzetek és/vagy szolgáltatási pontok -25°C és -15°C vagy $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten tárolt oltóanyaggal történő ellátására. A központi vakcinaraktárakban a készlet egy része tárolható hőszigetelő tartályokban újrafagyasztással, melyet 5 naponta végeznek el, de nem tart 30 naptól tovább ez a tárolás. Ez lehetővé teszi a -90°C és -60°C közötti hőmérsékleten tartott vakcina újraelosztását. Ezt követően ez az oltóanyagkészlet továbbosztható -25°C és -15°C közötti vagy $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten a körzeti raktárakba és/vagy szolgáltatóhelyekre [7]. A 6. ábra ezt a telepítési stratégiát ábrázolja.

Mielőtt újraosztásra kerülnek a vakcinák, az UCC központ felelősének fel kell jegyeznie a szállítási dokumentumokra, hogy mikor vették ki az ULT fagyasztóból vagy a hőszigetelő tartályból, illetve azt is, hogy a $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten mennyi ideig tartható még el és ezt a kiszállítási hellyel közölni kell. Mindezek mellett az új lejárat dátumot is fel kell tüntetni az oltóanyag címkéjén [7].

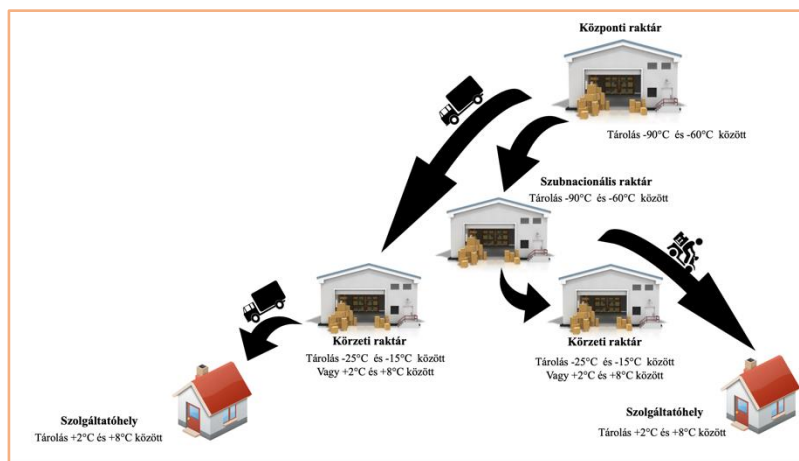
A megfelelő hűtési lánc fenntartása érdekében a szállítás ideje alatt ajánlott, hogy az oltóanyagot csak a WHO által előminősített (prequalified - PQ) szállítódobozokban szállítsák.

- Ha a felolvasztott vakcinát $+2^{\circ}\text{C}$ és $+8^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérsékleten szállítják, szabványos hűtőládákat/vakcinaszállítókat ajánlatos használni kondicionált fagyasztott vízcsomagokkal vagy fagyásgátló hűtőládákat/vakcinaszállítókat nem kondicionált fagyasztott vízcsomagokkal [7].
- -25°C és -15°C közötti hőmérsékleten fagyasztott vakcina szállításánál, szabványos hűtőládák ajánlatosak nem kondicionált fagyasztott hűtőfolyadék-csomagokkal [7].

Annak érdekében, hogy elkerüljem a félreértéseket, tisztázni szeretném mit is jelent a kondicionált fagyasztott vízcsomag és miért fontos.

A kondicionált jégcsomagokat először teljesen lefagyasztják, majd kiveszik a fagyasztóból és rövid ideig szobahőmérsékleten hagyják (hideg szobában ez több mint 30 percig is eltarthat). Addig kell ezeket a csomagokat szobahőmérsékleten hagyni, amíg a jég olvadni nem kezd és víz nem kezd képződni. Fontos, hogy ellenőriznek kell, hogy minden egyes jégcsomag

megfelelően kondicionálódott-e. Meg kell rázni, majd meg kell hallgatni, hogy mozog-e benne a víz. Ez megakadályozza, hogy a jégzsákok megfagyasztják az oltóanyagokat a hűtődobozban és károsítsák a fagyérzékeny oltóanyagokat. Ez azért fontos, mert több tanulmány is kimutatta, hogy sok vakcinát a fagyás súlyosabban károsít, mint a hő. Ezért elengedhetetlen a fagyérzékeny vakcinák szállítása során a megfelelően kondicionált jégcsomagok vagy hűtővizes csomagok használata [8].



6.ábra: Többszörös UCC központ [saját szerkesztés]

5.2. Gyors vakcinelosztási stratégia

Ezzel a telepítéssel az oltóanyagokat egy központi UCC-központból közvetlenül a különböző szolgáltatási pontokra lehet eljuttatni a megfelelő szállítással, ahogyan azt a 7. ábra is mutatja. Ekkor ideiglenes tárolóhelyre nem feltétlenül van szükség. Ez az elosztási stratégia olyan országokban alkalmazható, ahol a körzetek közel vannak a központi raktárhoz, azaz a szállítási idő rövid, valamint olyan kis országokban, ahol a körzetek a központi raktárból különböző szállítóeszközökkel könnyen megközelíthetők [7].

Ennél a folyamatnál is a vakcinakészletet a termikus szállítótartályból közvetlenül a központi vakcinatárolóban lévő ULT fagyasztóba lehet szállítani. Amint a fogadó létesítmény készen áll a vakcinázásra, úgy az oltóanyagokat felolvasztják. Figyelní kell arra, hogy csak a szükséges számú adag kerüljön kiolvasztásra, amelyet +2°C és +8°C között közvetlenül a kiszolgálóhelyekre kell szállítani. Természetesen van másik lehetőség is, mégpedig az, hogy a vakcinát -25°C és -15°C között fagyasztva szállítják, de ez főként csak akkor, ha a várható utazási idő 12 óránál hosszabb, így a felolvasztás a vakcina átvételekor kezdődik a szolgáltatási pontokon [7].

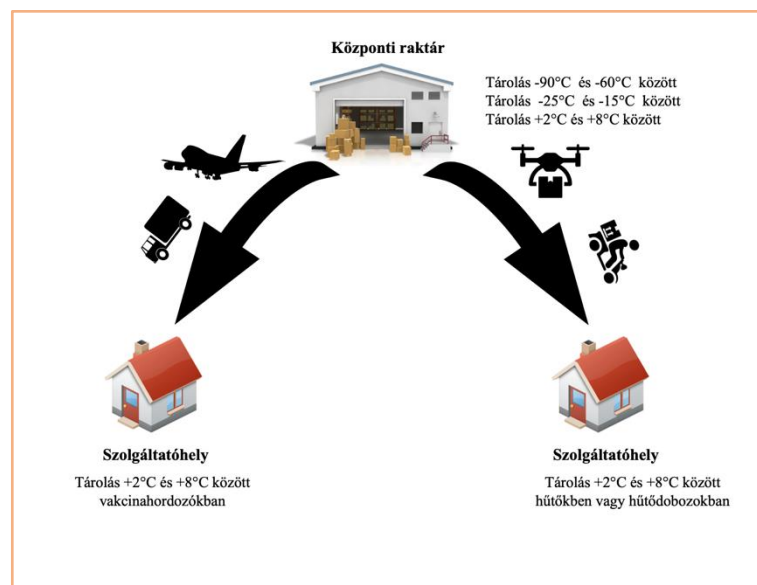
Abban az esetben, ha az átvevő létesítmény rendelkezik oltóanyag-hűtőszekrénnel, az oltóanyag +2°C és +8°C között tárolható és felhasználható az eltarthatósági idő lejárta előtt. Mindig meg kell róla győződni, hogy az új lejáratí idő fel van- e tüntetve a címkén. Azonban, ha nem rendelkezik hűtőszekrénnel, a vakcina néhány napig megfelelő hűtőcsomaggal ellátott hűtőládában is tárolható. Viszont a hűtőcsomagokat folyamatosan cserélni kell és csak a WHO által előminősített hűtőládákat szabad használni. Ha pedig a szervizpont rövid utazási távolságon belül van a központi raktártól, a vakcinát megfelelő hűtőcsomagokkal ellátott vakcinahordozóban is el lehet szállítani, így azonnal felhasználható [7].

Ahogyan az előző elosztási stratégiának, úgy ennek a változatnak is megvan az előnye és a hátránya [9]. Az előnyei a következők:

- Kevesebb tárolási teher a szubnacionális és a körzeti szinteken
- Gyors vakcinaelosztási mechanizmus, szemben a kaszkád elosztási stratégiával
- Költségmegtakarítás, mivel az UCC beruházás a központi tárolóra korlátozódik
- Magas oltóanyag-fogyasztás és alacsony pazarlás, mivel az oltóanyagot igény szerint szállítják
- Az eltarthatósági idő maximalizálódik, mivel az oltóanyagot ULT-fagyasztóban tárolják
- Több raktárszint kihagyása miatt a szállítási költség sokkal kevesebb
- Előnyös lehet az oltóanyag-szállítások, a felhasználás és a pazarlás jobb nyomon követése szempontjából

A hátrányai:

- A felolvasztott oltóanyagoknak nem tesz jót, ha az utazási idő a kiszolgálóhelyekre több, mint 12 órát vesz igénybe
- Ha az oltóanyagot hosszabb ideig tartják szubnacionális raktárakban, ezáltal késleltetik, hogy eljusson a szolgáltatási pontokra, akkor ezzel az eltarthatósági idő tovább csökkenésének kockázata nő
- Megbízható rendszerre van szükség az oltóanyag-ellátás és -mozgás nyomon követéséhez és nyilvántartásához



7.ábra: Gyors vakcinaelosztási stratégia ábrázolása [saját szerkesztés]

5.3. Lépcsőzetes (kaskád) vagy gyors vakcinaelosztási stratégia?

Ebben a fejezetben a bemutatott két elosztási stratégiát hasonlítom össze egy táblázatban (8. ábra) az előnyeik és hátrányaik alapján:

	Kaskád elosztási stratégia	Gyors vakcinaelosztási stratégia
Előnyök	- Az alacsonyabb raktárszinteken maximalizálhatjuk a már meglévő kettős hőmérsékletű kapacitást (-25°C-tól -15°C-ig és +2°C-tól +8°C-ig). - A fagyasztók jelenléte az országos/körzeti raktárakban lehetővé teszi, hogy a vakcinát -25°C és -15°C közötti hőmérsékleten fagyasztva szállítsák, kiküszöbölve a +2°C és +8°C közötti hőmérsékleten történő szállítási kockázatot. - Költséghatékony, mivel az UCC-beruházás a központi áruházra és a stratégiai elhelyezkedésű területekre korlátozódik.	- Támogatja a vakcinák gyors elosztását a szolgáltató létesítményekben és elkerüli a szubnacionális és körzeti szintek raktározási terheit. - Lehetővé teszi a magas oltóanyag-fogyasztást és az alacsony pazarlást, mivel az oltóanyagot igény szerint szállítják. - Az eltarthatósági idő maximalizálódik, mivel a vakcinát ULT-fagyasztóban tárolják, és csak szükség esetén olvasztják ki. - Több tárolási szint kihagyása miatt megtakarítás érhető el a szállítási költségeken és az UCC beruházáson is, mivel ebben az esetben csak a központi raktárra korlátozódik.

		• Lehetővé teszi az oltóanyag-szállítások, a felhasználás és a pazarlás hatékony nyomon követését.
Hátrányok	• Lassú vakcinaelosztási mechanizmus. • Ha sokáig marad a szubnacionális raktárakban az oltóanyag, akkor fennáll az esélye annak, hogy tovább csökken az eltarthatósági idő. • Az oltóanyag mozgásának, a fennmaradó eltarthatósági időnek és a tárolási hőmérsékletnek a szolgáltatási pontokon történő gondos nyomon követését igényli. • A tárolás/szállítás során a hőhatás miatt vakcinapazarláshoz vezethet. A többszintű szállítás miatt magasabb szállítási költséget eredményezhet.	• A felolvasztott oltóanyagot a szállítási stressz veszélye fenyegeti, ha a szolgáltatópontokhoz való eljutási idő több, mint 12 órát vesz igénybe. • Az oltóanyag mozgásának, a fennmaradó eltarthatósági időnek és a tárolási hőmérsékletnek a szolgáltatási pontokon történő gondos nyomon követését igényli. • Megbízható rendszer szükséges az oltóanyagellátás és -mozgás nyomon követéséhez és nyilvántartásához.

8.ábra: Telepítési módok összehasonlítása [saját szerkesztés]

5.4. A legfontosabb szempontok az ultrahideg hűtési lánc-rendszer tervezésénél és irányításánál

Amikor ultrahideg hűtési lánc-rendszert tervezünk nagyon sok mindent figyelembe kell vennünk, annak érdekében, hogy a rendszerünk működőképes legyen, ezért ebben a fejezetben most ezeket foglalom össze.

Elsőként fontos ellenőrizni, hogy milyen a *meglévő hűtési lánc helyzete*. Információkat kell kapnunk a meglévő hűtési lánc-kapacitásról (hűtési/fagyasztási kapacitások) és a berendezések állapotáról (karbantartási és javítási igények). A COVID-19 vakcina ellátási láncának megtervezésekor olyan kérdésekre kell választ adni, mint például [7]:

- Melyek az optimális tárolási pontok a központi, a köztes és a szolgáltatói szinteken, valamint a tárolási pontokhoz és az oltási helyekhez vezető szállítási útvonalak?
- Hogyan fogják tárolni és szállítani az oltóanyagot az utolsó mérföldig?

Tervezéskor meg kell határozni a kívánt *tárolási hőmérsékletet*, a szükséges tárolási kapacitást (tárolási térfogatot) és az egyes helyszíneknek és igazgatási szinteknek megfelelő CCE-típust, melyek az ultraalacsony hőmérsékletű fagyasztó (-90°C-tól -60°C-ig); normál fagyasztó (-25°C-tól -15°C-ig) vagy a hűtőszekrény (+2°C-tól +8°C-ig) [7].

A következő szempont a *folyamatos áramellátás*. Az ULT-fagyasztó folyamatos áramellátásának biztosítása érdekében biztosítani kell a telepítési helyhez vagy létesítményhez rendelt hálózati transzformátort, továbbá minden áramkörnek, beleértve a konnektorokat is, biztonságos állapotban kell lennie és szakképzett mérnök vagy villanyszerelő által a nemzeti szabványoknak megfelelően kell tesztelve lennie és jóváhagyva. Fontos az automatikus átkapcsoló beállítása, amely biztosítja, hogy a berendezések áramszünet esetén automatikusan váltsanak oda-vissza a hálózati áramellátás és a tartalék generátor között. A szállítás közbeni folyamatos áramellátást illetően az UNICEF SD (supply division) rendelkezik egy aktív hordozható ULT-fagyasztószelekre vonatkozó hosszú távú megoldással, amely a Pfizer-BioNTech COVID-19 oltóanyag tálcán tárolására és szállítására használható. Ez az eszköz legfeljebb 7 doboz (7×195 injekciós üveg) Pfizer-BioNTech COVID-19 oltóanyag tárolására alkalmas. Ha a hálózati áramellátás nem áll rendelkezésre, ez a hordozható berendezés 12 voltos (V) egyenáramú (DC) tápegységről vagy a jármű tápcsatlakozójáról működik a szállítás során [7].

Előírás, hogy minden UCC-központnak legalább *egy hűtési lánc-technikussal és két asszisztenssel kell rendelkeznie* (egy az oltóanyag kezeléséhez és egy a szárazjég kezeléséhez). A többi dolgozó számára *biztosítani kell a megfelelő képzést*, hogy a napi műveleteket irányítani tudja. Ilyen műveletek például a tárolási hőmérséklet ellenőrzése és az eltarthatósági idő nyomon követése, a vakcinaelosztás és -szállítás, vagy a hűtőcsomagok (szárazjég vagy vízcsomagok) és szállítótartályok előkészítése és feladása. Továbbá műszaki szakemberekre is szükség van, akik el tudják végezni a karbantartását az ULT-berendezéseknek. Mindezek mellett elengedetlen a dolgozók védelme, azaz rendelkezésre kell állnia a dolgozók számára hosszú ujjú kriogén/szigetelt kesztyűnek (például szárazjég kezelésekor), védőszemüvegnek, légzőmaszknak a PCM-folyadékból származó lítium-klorid belégzésének elkerülése érdekében [7].

Az utolsó szempont, amit mindenképpen figyelembe kell venni, az a *szállítás*. Az ULT-berendezések nemzetközi szállítása a gyártó és a beszerző ügynökségek, például az UNICEF felelőssége. Azonban nem egyszerű ezen berendezések szállítása, hiszen tudni illik, hogy az IATA korlátozza az egyes berendezésekbe töltött gyúlékony hűtőközeg mennyiségét, ebből kifolyólag az ULT-fagyasztók legtöbb modellje nem szállítható légi úton, így azokat tengeri úton kell szállítani. Még ha a légi szállítás engedélyezett is, ez jelentős hatással van a szállítási költségekre, mivel az ULT berendezések nagy tömegűek és nehezek. Az ULT-fagyasztó magassága is korlátot jelenthet, mivel nem minden modell esetében engedélyezett a vízszintes

szállítás. A vámokat illetően az országok felelősek azért, hogy a lehető leghamarabb megkapják a behozatali engedélyeket az ULT-berendezésekre [7].

6. LOGISZTIKAI PROBLÉMÁK

A pandémia megfékezésének érdekében sokféle elővigyázatossági intézkedést vezettek be az országok, mint például a gyárak és üzletek átmeneti leállítása, utazási korlátozások, kötelező maszkviselés és az állampolgárok kötelező elszigetelődése. A pandémiának köszönhetően a logisztikai rendszerek ellenőrzése is sokkal szigorúbb lett, melynek eredményeképpen a tervezett átfutási idők megváltoztak és késések mutatkoztak a folyamatokban [15].

A világjárvány idején az ellátási láncok legfontosabb jellemzője a fogyasztók felé történő gyors reagálás és a magas nyereség elérése.

A *megváltozott vevői igények* azt eredményezték, hogy egyes termékek iránt robbanásszerűen megnőtt az érdeklődés – ilyen például a COVID-19 megelőzésével kapcsolatos eszközök utáni igények, mely készlethiányhoz vezetett. Ezt egy bevásárlás során mindannyian tapasztalhattuk. A vírus terjedése rendkívüli késéseket okozott a nélkülözhetetlen cikkek szállításában, miközben a nem szükséges készletek hegyekben álltak, hiszen a kínálat nem volt összhangban az aktuális kereslettel. A maszkok iránt nagy igény mutatkozott, ezzel szemben az elektronikai termékek iránti kereslet csökkent, aminek köszönhetően felborult a piac egyensúlya [14, 15].

A határok lezárásának köszönhetően, *megszűntek a megszokott útvonalak*. Ez közvetlenül érintette azokat a logisztikai vállalatokat, melyek az áruk mozgatásában, tárolásában és áramlásában vettek részt [14, 15]. Általában a szállítmányozók és a kormányok a légi árufuvarozáshoz fordulnak az alapvető áruk esetében, de a pandémia kezdetén szinte az összes járatot törölték, ebből kifolyólag ellátási hiánnyal kellett szembenéznie a piacnak. Annak köszönhetően, hogy csökkent a lehetőség a légi fuvarozásra, ezeknek a díja megemelkedett, továbbá a szigorított egészségügyi ellenőrzések miatt még több késés volt tapasztalható [13, 14]. A tengeri szállítmányozás tekintetében szintén több probléma is tapasztalható volt. Éveken át az óceáni útvonalakat olcsóbb alternatív szállítási módként használták - a pontos szállítás rovására - azonban a vírus hatására a legtöbb beszállító leállította tevékenységét. Ezt azzal indokolták, hogy alig volt mit szállítani, így a mindig zsúfolt kikötők most sok teherhajó kikötőjeként szolgáltak. Mivel Kína volt a vírus kiindulóhelye, ezért a kikötőkben kezelt összes konténerforgalom 10,1 %-kal csökkent 2020 első hónapjaiban. Világszerte jelentős korlátok nehezédtek az óceáni árufuvarozásra, ami mind a kulcsfontosságú exportőröket - Brazília, Kína, India, Mexikó- mind az importőröket – Európai unió- érintette [13, 14].

A szállítási módokat tekintve a szárazföldi szállítás volt az, amely részben elérhető maradt világszerte, mivel az utak továbbra is működtek, kivéve a súlyos zárlat alatt álló országokban. Ahogyan a légi szállítmányozásnál már említettem, itt is érezhető volt késés a megnövekedett állami határmenti egészségügyi ellenőrzések miatt. Új módszert kellett kitalálni az áruátvitelre is, hiszen a célállomásra érve a vállalatok, amelyek arra támaszkodtak, hogy a sofőrök a kiszállításkor aláírják az áruikat, már nem tudnak támaszkodni erre a módszerre az egészségügyi óvintézkedések miatt [13, 14].

A következő probléma az az *emberi munkahiány*. A korlátozott kereslet és kínálat miatt a legtöbb vállalat a működési költségek fedezése érdekében a legtöbb munkavállalójának leépítésére kényszerült. Ennek eredményeképpen azok, akik elég szerencsések voltak ahhoz, hogy megőrizték munkahelyüket, arról számoltak be, hogy istentelenül sokáig dolgoznak, azért, hogy megfeleljenek az előírásoknak és túlerőltetve érzik magukat. Ebből kifolyólag a halálos vírusnak áldozatul esett munkavállalók száma is megnőtt. A legtöbb egészségügyi intézmény arról számolt be, hogy a szociális és gyári dolgozók nagy része karanténban van, miután a betegségnek kitették magukat, a fennmaradó százalék pedig az otthonmaradást választotta, mert féltették az életüket. Ennek eredményeképpen a munkaerőhiány a gyártás és az ellátás szintjén megterhelte a logisztikát és az áruszállítást is [13, 14].

Mindezek mellett a járványnak köszönhetően a vállalkozók rádöbbenek, hogy hogyan is függenek egymástól a hierarchiában álló partnerek, mivel az ellátási lánc felső szintjein lévő szereplőket súlyosan érintette a hierarchiában alacsonyabban lévő szereplők kereslet ingadozása. Ez az úgy nevezett ostorcsapás-effektus romboló hatással volt a felsőbb szintű szereplőkre. Ekkor szembesültek a vállalatok a gyengeségeikkel, mint például a láthatóság hiányával a lánc teljes hosszában [15]. Továbbá sokan azt gondolnák, hogy egyes országoknak kellő ideje volt felkészülni és készenléti terveket kidolgozni a vírus terjedésének megállítására, azonban ez nem így történt. A logisztikai ágazatban működő vállalatok több, mint 50%-a a partnereivel való ellátási lánc kieséssel súlyosbodott. Ennek következtében a gazdaságra és a fogyasztókra gyakorolt hatások katasztrofálisak [14].

Talán már kezdenénk fellelegezni és visszatérni a régi élethez, ám az *orosz-ukrán konfliktus*, a COVID-19 újbóli kínai zárlatai tovább súlyosbítják az ellátási lánc eléggé rossz globális helyzetét. Az Oroszországgal szemben bevezetett korlátozások és más korlátozások lehetősége továbbra is hatással van az üzemanyagköltségekre, a gázellátásra, ami hozzájárul a szélesebb körű ellátási lánc válságához. Bár az árufuvarozási piacok csak korlátozott mértékben vannak közvetlenül kitéve Oroszországnak és Ukrajnának, a globális logisztikának egyre több

kockázati tényezővel kell megküzdenie, ideértve a légtérkorlátozásokat, a fogyasztói kereslet jövőbeli alakulásának bizonytalanságát és a kínai COVID-19-re adott válaszlépésekkel kapcsolatos folyamatos szűk keresztmetszeteket.

A cold chain folyamaton belül a fent említett általános logisztikai problémákon túl, más gondok is jelen vannak. Egy példa a sok közül, hogy mit kell akkor tenni, ha az *éjszaka közepén elromlik egy vakcinát tároló hűtő*. 2021 januárjában ezzel a problémával kellett szembenéznie egy Seattle-i kórháznak. 800 darab vakcinájuk volt, amit reggel 5:30-ig be kellett adniuk az embereknek, különben dobhatták ki. A vakcinapazarlás már így is nagy probléma volt, ezért sürgősen kellett egy megoldást találniuk. Így történt, hogy szinte minden nővért behívtak késő este dolgozni és a közösségi oldalakon kezdték el megosztani, hogy van 800 darab vakcinájuk, amiket azonnal fel kell használni. Mivel nem volt egy plusz hűtőjük, amibe átpakolhatták volna az oltóanyagokat, így ez a megoldás volt az ésszerű és szerencsére sikeres volt a folyamat, az összeset sikerült felhasználni [16].

A szállítás során felmerülhetnek különféle problémák, mint például a *hűtőkamrák áramellátásának megszakadása*, a hűtőfolyadék vagy konténer/berendezés meghibásodása (amit súlyosbíthat az üzemanyag vagy alkatrészhiány), illetve a konténerek rossz hűtőfolyadék-keringése [19].

A következő elég nagy probléma a *hűtő- és fagyasztóajtók sérülése*, hiszen hiába az a feladatuk, hogy tartsák a megadott hőmérsékletet, sérült ajtóval nem tudják ezt a feladatot teljesíteni. A legtöbb esetben rakodógépek okozzák ezeket a sérüléseket, így olyan szorosan záródó, ütésálló fagyasztóajtókra van szükség, amelyek visszapattannak a sínre, ha egy tárgyonca nekimegy. Ha pedig nem foglalkoznak vele, az ilyen hűtőházi ipari ajtók károsodásának közvetlen következménye a romlott termék, de ez a hűtési láncban egyéb gyakori problémákhoz is vezethet, amelyek hatással lehetnek a munkavállalók biztonságára, a fogyasztók biztonságára és végső soron az üzleti kapcsolatokra. Egy másik gyakori probléma az ipari fagyasztókban a *penész és a penészgomba keletkezése*. A rosszul kezelt hőmérséklet vagy a törött fagyasztóajtó okozhatja ezt a problémát. Megfelelő karbantartás esetén azonban a fagyasztófalak minimálisra csökkentik a mikrobák megtelepedését és a részecskék felhalmozódását. Ha a fagyasztóban a penészesedés problémává válik, akkor alaposan ki kell takarítani azt, hogy elkerüljük a jövőbeni következményeket. Tárolás során olyan problémák merülhetnek fel, mint az elektromos hibák, a nem egyenletes hűtés vagy a gyenge szigetelés [17, 19].

Azokban a létesítményekben, ahol a műveletek hideg és meleg folyamatokat egyaránt magukban foglalnak, a *kondenzáció felhalmozódása* a hűtőkben és fagyasztókban egy elég

gyakori probléma. A termékek túlzott nedvességet termelhetnek, ha túl gyorsan kerülnek egyik hőmérsékletről a másikra. Ez egyrészt csúszós felületeket okozhat, ami hatással lehet a dolgozókra, másrészt pedig termékhamisítást, ami egészségügyi kockázatot jelenthet a fogyasztók számára [17].

Egy nagy kihívást jelent a hűtési láncban a *fenntarthatóság* kérdésköre. A hőmérséklet-szabályozott termékek forgalmazása és szállítása sajnos az üvegházhatású gázok kibocsátásának fő okozójának bizonyult. Az ellátási lánc egyéb szállításaihoz képest a hűtési berendezések miatt a hűtési lánc-szállítás 20 százalékkal több üzemanyagot fogyaszt, mint más nehézjármű-típusok. A fenntarthatóság legnagyobb problémája a hűtési lánc hűtőrendszereinek működtetéséhez szükséges nagy energiafogyasztás vagy a fosszilis tüzelőanyagok elégetése. A hűtőrendszerekben használt hűtőgázokkal, például a fluorozott szénhidrogénekkal kapcsolatos problémák is egyre nagyobb problémát jelentenek és egyre több szabályozás vonatkozik rájuk, mivel ezek a gázok nagymértékű üvegházhatású gázkibocsátásért felelősek. Az Európai Unió 2015-ben szigorú korlátokat állapított meg a magas globális felmelegedési potenciállal rendelkező fluorozott szénhidrogénekkal hűtőközegek gyártására és értékesítésére vonatkozóan [18].

A fent említette indokokon túl számos más probléma adódhat a szállítmányokkal, kezdve a törött termékektől vagy a termékek nem megfelelő melegen való kitettségétől. Alapvető fontosságú, hogy a hűtési lánc-menedzsment megtegye a megfelelő lépéseket, hogy megelőzze ezeket a gyakori hőmérséklet-szabályozási ellátási lánc problémákat. A hűtési lánc integritásának és a fogyasztók biztonságának biztosítása minden hűtőházi létesítmény működése szempontjából kiemelkedő fontosságú.

A kutatómunkám során nem találtam olyan tervezési módszert, amelynek segítségével a megfelelő ellátási lánc típusa, valamint annak kialakítása a követelmények definiálását követően meghatározható. Ennek hiánya számos esetben növelheti a kialakításra kerülő folyamat működési költségét, valamint csökkentheti annak megbízhatóságát.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A TDK dolgozat a COVID-19 pandémia visszaszorításában nagy szerepet játszó vakcinákhoz szükséges hideg ellátási láncot mutatta be. Először bemutattam hogyan is alakult ki a cold chain és milyen kapcsolatban áll a logisztikával, majd hosszasan tárgyaltam a vakcinák csomagolását, tárolását és szállítását. Ahogyan tudjuk, a globális oltóanyag-ellátási lánc biztonságos hűtési lánc-menedzsmentjének kialakítása kritikus fontosságú volt. Ennek eredményeképpen innovatív technológiákra és technikákra volt szükség az oltóanyagok elosztásának egyszerűsítéséhez, a csomagolási helyigény csökkentésével, az adminisztráció ésszerűsítésével és a hulladék csökkentésével. Így részletesen kitértem a dolgozatomban az ultraalacsony hűtési láncú rendszer kialakítására is. Végezetül összefoglaltam egy fejezetben, hogy milyen logisztikai problémákat vetett fel a cold chain.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS



Ez a TDK dolgozat a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-1 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Jean-Paul Rodrigue and Dr. Theo Notteboom: The Cold Chain and its Logistics
- [2] Cargo Data hivatalos honlapja, <https://cargodatacorp.com/the-evolution-and-history-of-the-cold-chain/>
- [3] RFL Cargo hivatalos honlapja, <https://rflcargo.com/en/the-different-types-of-vehicles-in-the-cold-chain/>
- [4] Andrew Kirk, Chief Operating Officer at BioCare, Inc.: The evolution of cold supply chain in the wake of covid-19
https://www.contractpharma.com/contents/view_experts-opinion/2021-10-21/the-evolution-of-cold-supply-chains-in-the-wake-of-covid-19/
- [5] Gina Shaw: COVID-19 and the Cold Chain:
<https://www.pharmacypracticenews.com/Operations-and-Management/Article/05-22/COVID-19-and-the-Cold-Chain/66909>
- [6] Tetsekela Anyiam- Osigwe: Keeping vaccines cool with cold chain,
<https://www.gavi.org/vaccineswork/keeping-vaccines-cool-cold-chain>
- [7] WHO: Operational guidance on establishing an ultra-cold chain system in support of the Pfizer-BioNTech COVID-19 Vaccine rollout
- [8] <https://www.open.edu/openlearncreate/mod/oucontent/view.php?id=53354§ion=1.4.3>
- [9] Mathumalar Loganathan Fahrni, Intan An-Nisaa' Ismail, Dalia Mohammed Ref, Ahmad Almeman, Norliana Che Yaakob, Kamaliah Md Saman, Nur Farhani Mansor, Noorasmah Noordin and Zaheer-Ud-Din Babar: Management of COVID-19 vaccines cold chain logistics, Journal of Pharmaceutical Policy and Practice, 2022, DOI: 10.1186/s40545-022-00411-5
- [10] WHO: Training on handling, storing and transporting Pfizer BioNTech COVID-19 Vaccine COMIRNATY® (Tozinameran), 2021.
- [11] Government of Pakistan:
https://nhsrc.gov.pk/SiteImage/Misc/files/20210401%20Guidelines%20for%20Sputnik%20V%20Vaccine_6101.pdf
- [12] Government of Pakistan:
https://storage.covid.gov.pk/new_guidelines/16August2021_20210813_Guidelines_for_Sinopharm_Vaccine__5706.pdf

- [13] Steve Buckman: 5 challenges facing the logistics industry due to Covid-19 and how to solve them, <https://www.symbia.com/resources/challenges-facing-the-logistics-industry/>
- [14] International Finance Corporation: The Impact of Covid-19 on Logistics, https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/2d6ec419-41df-46c9-8b7b-96384cd36ab3/IFC-Covid19-Logistics-final_web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=naqOED5
- [15] Nagy Gábor, Bányainé Tóth Ágota, Illés Béla, Varga Attila Károly: A világjárvány hatása a globális logisztikai folyamatokra, Multidiszciplináris Tudományok, 2021, DOI: <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.4.4>
- [16] Evan Bush, Paige Cornwell, Mike Reicher: Late night freezer failure in Seattle sends hundreds scrambling to get a fast – expiring COVID-19 vaccine, <https://www.seattletimes.com/seattle-news/health/late-night-freezer-failure-in-seattle-sends-hundreds-scrambling-to-get-a-fast-expiring-covid-19-vaccine/>
- [17] <https://www.ritehite.com/en/am/news/2019/blog/five-common-cold-chain-challenges>
- [18] Christine Morris: Facing cold chain challenges, <https://trinitylogistics.com/facing-cold-chain-challenges/>
- [19] Cold Chain Expert: What are the Advantages and Risks of Cold Chain Temperature – Controlled Logistics? [Cold Chain Risk], <https://coldchaintoday.com/cold-chain-risk/>

A linkek letöltésének időpontja: 2022. 10. 24.

A dolgozat lezárásának dátuma: 2022. 11. 07.

Eredetiség nyilatkozat

Alulírott **Seprényi Kitti** (Neptun kód: T6D9NH), a *Miskolci Egyetem Gépészmérnöki- és Informatikai Karának alapszakos logisztikai mérnök* hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírásommal igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

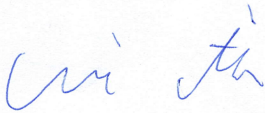
Miskolc, 2022. november 02.

.....
Seprényi Kitti

A konzulensek nyilatkozata

Alulírott, **Dr. Cservenák Ákos** és **Prof. Dr. Tamás Péter**, a Miskolci Egyetem Logisztikai Intézetének oktatói, **Seprényi Kitti** alapszakos logisztikai mérnök hallgató **Hogyan járult hozzá a logisztika a Covid-19 elleni globális küzdelemhez – Cold Chain folyamatok** című TDK dolgozatát beadásra alkalmasnak ítéljük.

Miskolc, 2022. november 02.



.....
Dr. Cservenák Ákos



.....
Prof. Dr. Tamás Péter