



frisbee

Food Refrigeration Innovations for Safety, consumers' Benefit, Environmental impact and Energy optimisation along the cold chain in Europe

8. ELŐADÁS ÚJSZERŰ HŰTÉSI ELJÁRÁSOK



MÁGNESES HŰTÉS (MAGNETIC REFRIGERATION)



frisbee

MÁGNESES HŰTÉS ELVE

A mágneses hűtés az ún. „**mágnes-kalorikus**” hatáson alapul, amely szerint: egyes anyagok mágneses térbe helyezve felmelegszenek, majd a mágneses tér megszüntetésével lehűlnek. A legjelentősebb, ún. „**első generációs**”, „**óriás mágnes-kalorikus**” anyagok a „**ritka-földfémek**” közé tartozó „**gadolinium és ötvözetei**”, amelyek szobahőmérsékleten 3...4 K hőmérsékletkülönbséget képesek létrehozni. Ma már a második és harmadik generációs mágnes-kalorikus anyagokat használják, amelyek vasötvözetek (ferromágneses anyagok), és lényegesen olcsóbbak. A mágneses hűtőgép „hűtőközegei” ezek közül kerülnek ki. Tehát ezek szilárd anyagok, szemben a manapság legelterjedtebb kompresszoros hűtőgépekben használt folyékony (vagy gáz) halmazállapotú hűtőközegekkel, pl. ammónia.

MÁGNESES HŰTÉS ELŐNYEI, FEJLETTSÉGE, FELHASZNÁLÁSA

A legfontosabb előnyei: (1) - a gadolinium, és a többi mágnes-kalorikus anyag **nem** okoz - a jelenleg használt hűtőközegeknél jelentkező - **környezetszennyező** hatást (ózon-lebontást és globális felmelegedést), (2) – a mágneses hűtőgép hatásfoka az ideális Carnot – hatásfok legalább 80 %-át eléri, így magasabb a jelenlegi gépekénél, ezért **kevesebb energiát használ**, (3) – az anyag (hűtőközeg) összetételétől függően: 30 ... 290 K között használható, tehát **a folyékony nitrogénnél is alacsonyabb hőmérséklet előállítására** alkalmas. Jelenleg alapvetően laboratóriumi szinten kerültek kifejlesztésre. Alkalmazásuk: elsősorban háztartási hűtőkben, hűtőbútorokban és légkondicionálásban - már kereskedelmi szinten is - néhány éven belül várható!

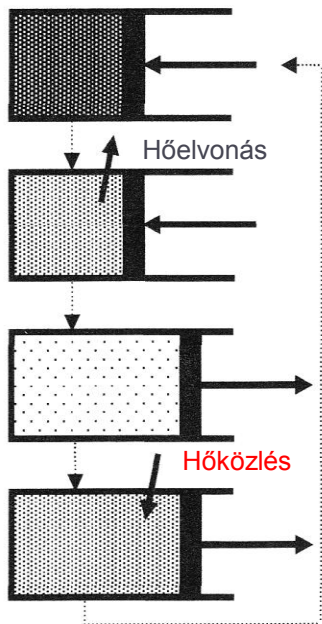
Távlati cél: a kompresszoros hűtőgépek kiváltása!



MÁGNESES HŰTŐGÉP ELVE, KÖRFOLYAMATA

ÖSSZEHASONLÍTÁS A KOMPRESSZOROS HŰTŐGÉPPEL

Kompresszoros



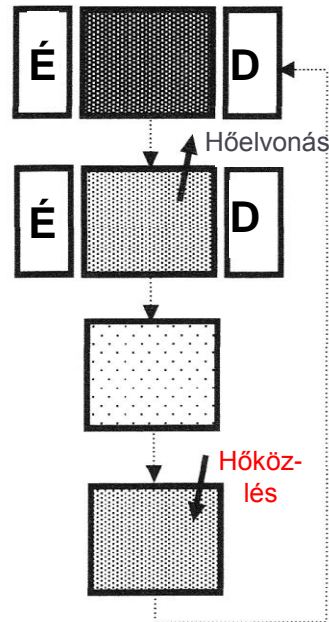
1. szakasz
Kompreszió
Felmelegedés

2. szakasz
Kondenzáció
Hőelvonás

3. szakasz
Expanzió
Lehűlés

4. szakasz
Elpárolgás
Hűközlés

Mágneses



1. szakasz
Mágnesezés
Felmelegedés

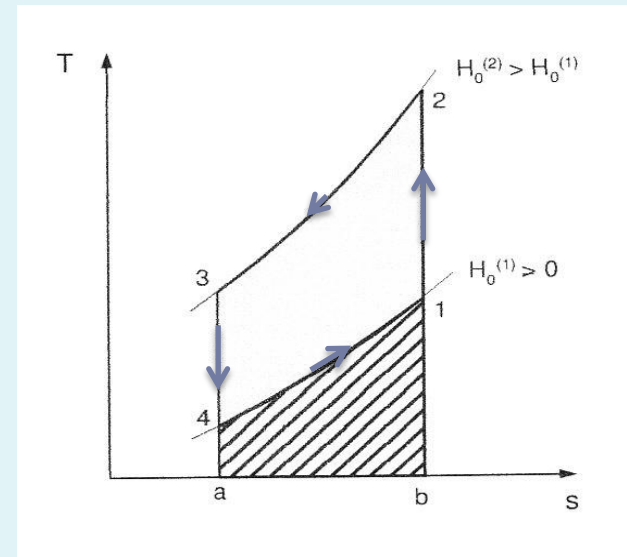
2. szakasz
Lehűtés
Hőelvonás

3. szakasz
Lemágnesezés
Lehűlés

4. szakasz
Melegítés
Hűközlés

BRAYTON – KÖRFOLYAMAT

1. Szakasz (1-2) - izentropikus mágnesezés
2. Szakasz (2-3) - izomágneses hűtés
3. Szakasz (3-4) – izentropikus lemágnesezés
4. Szakasz (4-1) – izomágneses melegítés



MÁGNESES HŰTŐGÉPEK SZERKEZETE



EGYFOKOZATÚ GÉP

Sokféle szerkezeti kialakítás elképzelhető, illetve került kialakításra. A mágnesezési és a lemágnesezési szakaszok megoldása (szétválasztása) alapján három alaptípus ismert: **az álló, a dugattyús végül a rotációs**. Az elsőnél az álló hűtőközeg (pl. gadolínium) egység (tömb) körül az (elektro) mágneses teret felváltva kapcsolják ki és be. A másodiknál a hűtőközeg (gadolinium) egységet dugattyú mozgatja be a mágneses mezőbe (mágnesezés), majd ki (lemágnesezés). Végül a rotációs (forgó) gépeknél a mágneses mező áll, és ebben forog a hűtőközeg (gadolinium karika vagy tárcsa), de lehet fordítva is, amikor a mágneses tér forog.

TÖBBFOKOZATÚ GÉP

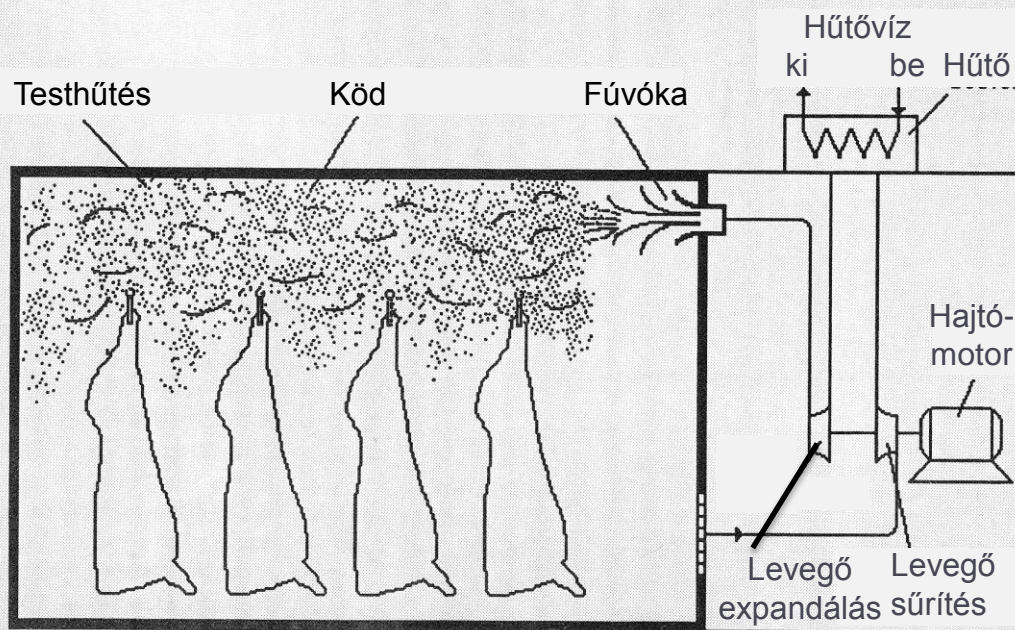
Az egyfokozatú mágneses hűtőgép gyakorlati - az élelmiszerhűtésben való - alkalmazásának legnagyobb korlátja, hogy az ún. „adiabatikus hőmérsékletkülönbség” - amit képes létrehozni - „csak” (3-4) K, miközben pl. egy háztartási hűtőben ez az érték: $(T_k - T_e) = (30-40)$ K körül van. Az egyik lehetséges megoldás több gép sorba kapcsolása ún. „**kaszkád**” rendszerben. A másik megoldás: a mágneses hűtőgépben ún. „aktív mágneses regenerátor (Active Magnetic Regenerator, **AMR**)” alkalmazása. Ekkor a hűtőgép, amelynek hűtőközege porózus szerkezetű mágnes-kalorikus anyag, két vége (a „hideg” és a „meleg”) között egy „regeneráló folyadék” (pl. víz vagy glikol) áramlik a pórusokon keresztül. Ilyen gépnél a hideg és a meleg oldal közötti hőmérséklet különbség elérheti, sőt meg is haladhatja a (30-40) K értéket. Továbbá, a hűtőgép készülhet többféle hűtőközeggel, ami szintén a hőmérsékletkülönbség növeléséhez vezet.



LEVEGŐ-HŰTŐKÖZEGŰ (AIR-CYCLE) HŰTŐGÉP

MŰKÖDÉSI ELVE, FELHASZNÁLÁSA

A levegő-hűtőközegű hűtőgép fő részegysége: egy közös tengelyre szerelt kompresszor + expander, melyeket egy motor hajt. A kompresszor a levegőt a hűtőteremből szívja be, komprimálja, majd egy hőcserélőben visszahűti. Ezután a levegő az expanderbe kerül, ahol kitágul és lehűl. Ezt juttatják be a hűtőterembe. Jelenleg repülőgépek klimatizálásában használják. További alkalmazása fagyasztott élelmiszereknél javasolt.



LEVEGŐ-HŰTŐKÖZEGŰ HŰTŐGÉP KÖRFOLYAMATA



FORDÍTOTT BRAYTON – KÖRFOLYAMAT VAGY BELL – COLEMAN KÖRFOLYAMAT

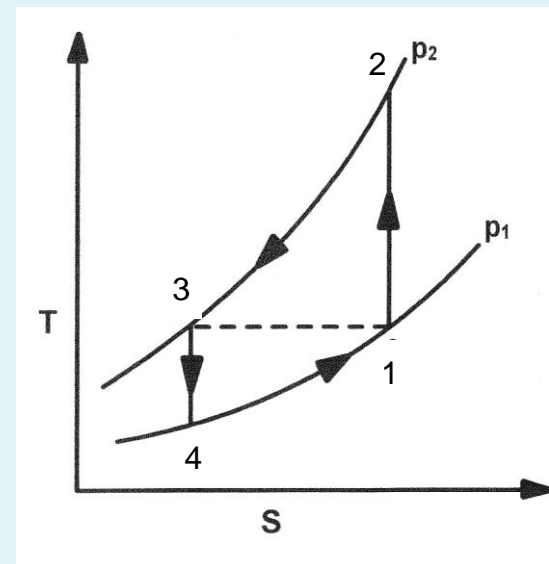
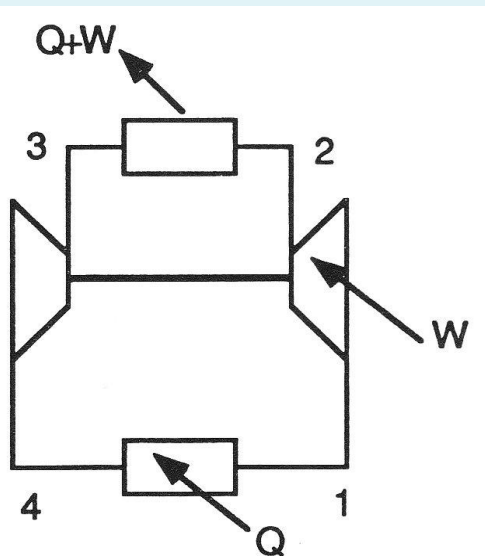
A termodinamikai körfolyamatok: hőenergia mechanikai energiává való átalakítását írják le. A „fordított körfolyamatok” segítségével - mechanika energia befektetésével - a hőenergia a hidegebb helyről elszállítható. Ez látható a baloldali ábrán, ami az 5. dián bemutatott léghűtés leegyszerűsített vázlatát mutatja. W – a befektetett mechanikai energia, ami a közös tengelyre szerelt kompresszor - expander hajtásához szükséges. Q – a hűtőteremben elvont hő. $(Q+W)$ - a hűtőben leadott hő, azaz az előző kettő

összege.

A jobboldali ábra a fentebb leírt körfolyamat során létrejövő állapotváltozásokat mutatja be T-S diagramban.

Itt:

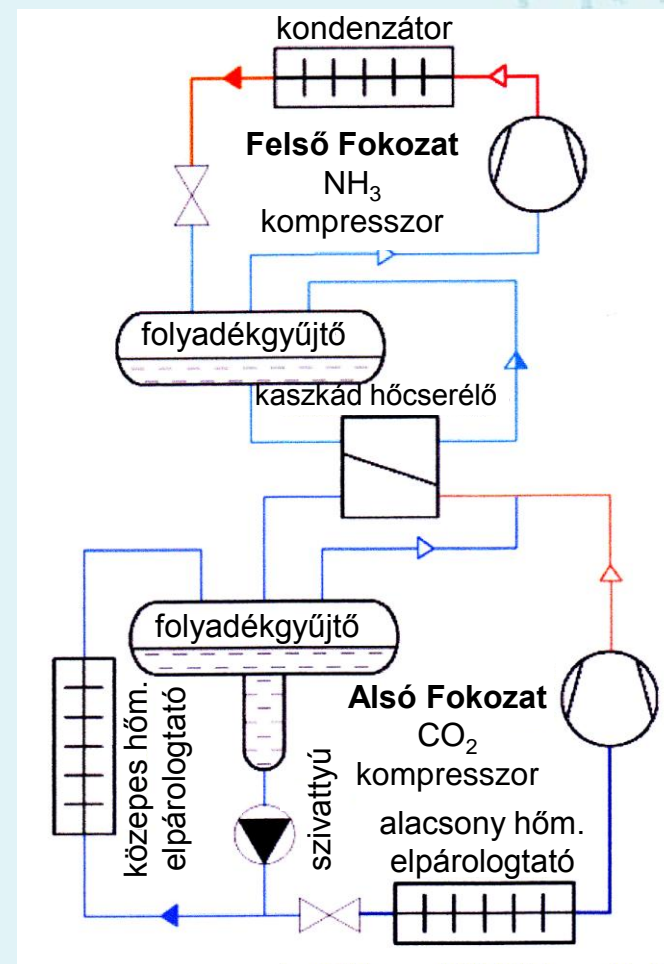
- 1 - 2 – izentropikus kompresszió
- 2 – 3 izobár hőelvonás
- 3 – 4 izentropikus expanzió
- 4 – 1 izobár hőközlés



FOLYÉKONY SZÉNDIOXID (CO₂) – KÖZEGŰ HŰTÉS

CO₂ HŰTŐKÖZEG JELLEMZÉSE, ALKALMAZÁSAI

A széndioxid atmoszférikus nyomáson gáznemű. A „hármaspontja” (5,18 bar és -56,6 °C) felett, ha a hőmérséklet alacsonyabb, mint -56,6 °C, akkor **szilárd (száraz jég)**, ha magasabb, akkor **folyékony**. A „kritikus pontja” (73,8 bar és +31,1 °C) felett ún. „szuperkritikus” állapotban van. **Fagyos tárolásra** - egyes hűtőjárművekben – a **száraz jeget** már régóta használják, ami légköri nyomáson és -78,51 °C felett szilárd állapotból gáz állapotba kerül, azaz „szublimál”. A **globális felmelegedés erősödésével a folyékony széndioxid „ismét” egyre jobban terjed, mint hűtőközeg**. A CO₂ hűtőgép **körfolyamata lehet „szubkritikus”, vagy „transzkritikus”,** azaz a kritikus pont alatti vagy feletti. Utóbbi esetben a kompresszió utáni folyamat a „szuperkritikus tartományban”, magas nyomáson (pl. 140 bar) történik. Elsősorban **járművekben** és a **kereskedelmi hűtésben** használják. Utóbbi esetben két fokozatban, ún. „**kaszád rendszer**” alsó fokozatában alkalmazzák, míg a felső fokozatban a hűtőközeg pl. ammónia (NH₃). Ilyen rendszer vázlatát látható az ábrán.



TÚLHŰTÉS ÉS SZUPERHŰTÉS (SUPERCoolING, -CHILLING)

ALÁHŰTÉS VAGY TÚLHŰTÉS (SUPERCoolING) JELENSÉGE

Azt a jelenséget nevezzük így, amikor folyadékot a fagyáspontja alá hűtünk, anélkül, hogy megszilárdulna, azaz jégkristályok jönnének létre. Az aláhűtött folyadék, ha erőhatás éri (pl. megkeverjük vagy összerázzuk) vagy egy jégkockát dobunk bele hirtelen megfagy. A jelenség oka, hogy a jégkristályok kialakulásához valamilyen „mag” (kristályosodási középpont) szükséges, ennek hiányában a folyadék túlűthető. Ezért a nagytisztaságú folyadékok (pl. szűrt víz, desztillált víz) hűthetők túl, a „csapvíz” „0” °C - on megfagy. Ld. www.wikihow.com/Supercool-Water

SZUPERHŰTÉS (SUPERCHILLING) JELENSÉGE

A tengeri halakat a kifogás után azonnal – még a hajón - le kell hűteni. Ez, hagyományosan jégpehellyel történik a fagyáspontjuk környékére. A szuperhűtés azt jelenti, hogy a hal hőmérsékletét kicsivel a fagyáspontjuk (31 F = -0,55 °C) alá hűtik (28 F = -2,22 °C), miközben a víztartalmuk (80 %) kb. fele megfagy. Az ekkor keletkező jégkristályok nem okoznak kárt a hal felengedettség utáni állagában, viszont élettartamát (eltarthatóságát és feldolgozhatóságát) az eljárás (12-15) napról kb. (20-26) napra növeli. Ezzel a halászati ciklus is 2 hétről 3 hétre növelhető. Szuperhűtésnél a jégpehellyel körülvett halakat lassan tovább hűtik. Az ún. Portugál – módszernél a halakat polcokra helyezik, amelyeket üreges falak vesznek körül, és ezek „kígyószerűen” kialakított üregeiben hideg sóoldatot áramoltatnak. Az Angol – módszernél a halak szuperhűtése, lényegében a kényszercirkulációs léghűtésnél korábban látott módszerrel történik.



HŰTÉS ÉS HŐTÁROLÁS FÁZISVÁLTÓ ANYAGOKKAL



FÁZISVÁLTÓ ANYAGOK (PHASE CHANGE MATERIALS, PCMs)

A hidegenergia tárolásában és szállításában használt ún. „fázisváltó anyagok”: a hűtés és fagyasztás hőmérséklettartományában megváltoztatják halmazállapotukat, nevezetesen folyadékból szilárddá vagy szilárdból folyadékká válnak, azaz megfagynak vagy felolvadnak. A legrégebben használt ilyen anyag a „jég”. Ha a hőmérséklet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti, a jég helyett más fázisváltó anyagot kell alkalmazni, melynek a fagyás-, illetve olvadáspontja szintén $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti. A fázisváltó anyag (pl. jég) $0,1\text{-}1\text{mm}$ méretű gömb alakú részecskéit megfelelő hűtőfolyadékba (pl. sóoldatba) keverve fázisváltó-szuszpenziót kapunk. Ezt ún. **termikus-akkumulátorokban a hidegenergia tárolására**, míg a **fázisváltó - szuszpenziókban a hidegenergia szállítására**, mint ún. „közvetítőközegek” **kerülnek felhasználásra**. A fázisváltó anyagok hűtéskor felolvadnak és az olvadási hő jelentősen megnöveli a hűtőteljesítményt. A jég mellett, ma már számos, fagyástartományba tartozó fázisváltó anyag is kapható a kereskedelemben.

FÁZISVÁLTÓ ANYAGOKKAL VALÓ HŰTÉS JELLEMZŐI ÉS ALKALMAZÁSAI

Előnyeik: kisebb energiaigény, szivattyúzhatóság, egyenletesebb tárolási hőmérséklet, csúcsigények kielégítése; **Hátrányaik:** kiegészítő elemekre van szükség.

Alkalmazásaik: szupermarketek, tejfeldolgozás, sörgyártás, tárolás, légkondicionálás



HŰTÉS NANOFLUID HŰTŐFOLYADÉKKAL



NANOFLUID HŰTŐFOLYADÉKOK JELLEMZÉSE

A nanofluid hűtőfolyadékok nanorészecskéket tartalmazó szuszpenziók. A szuszpenzió folyadékfázisa lehet pl. víz, amelyben nanoméretű ($\leq 10^{-9}$ m) részecskéket diszpergálnak. Ezek lehetnek fémesek: pl. réz vagy ezüst (rudak) vagy fénoxidok: pl. rézoxid, titán dioxid, vagy széncsövek, kovasav.

NANOFLUID HŰTŐFOLYADÉKOK HATÁSA A HŰTÉSRE, HŐCSERÉRE

A nanofluid hűtőfolyadékok termikus jellemzői jobbak, mint a tiszta folyadék fázisé (a hordozó folyadéké). Pl. 0,5 % nanoméretű ezüst (rúd) alkalmazása a víz hővezetését 68 %-al, vagy az etilén-glikolét 98 % - al javítja. Továbbá, egyes nanofluidumok eltávolítják a hőcserélők falára lerakódott olajt, vagy a pórusokba berakódott buborékokat, amelyek hőszigetelőként funkcionálnak.

NANOFLUID HŰTŐFOLYADÉKOK ALKALMAZÁSA

Jelenleg laboratóriumi, kísérleti állapotban vannak.

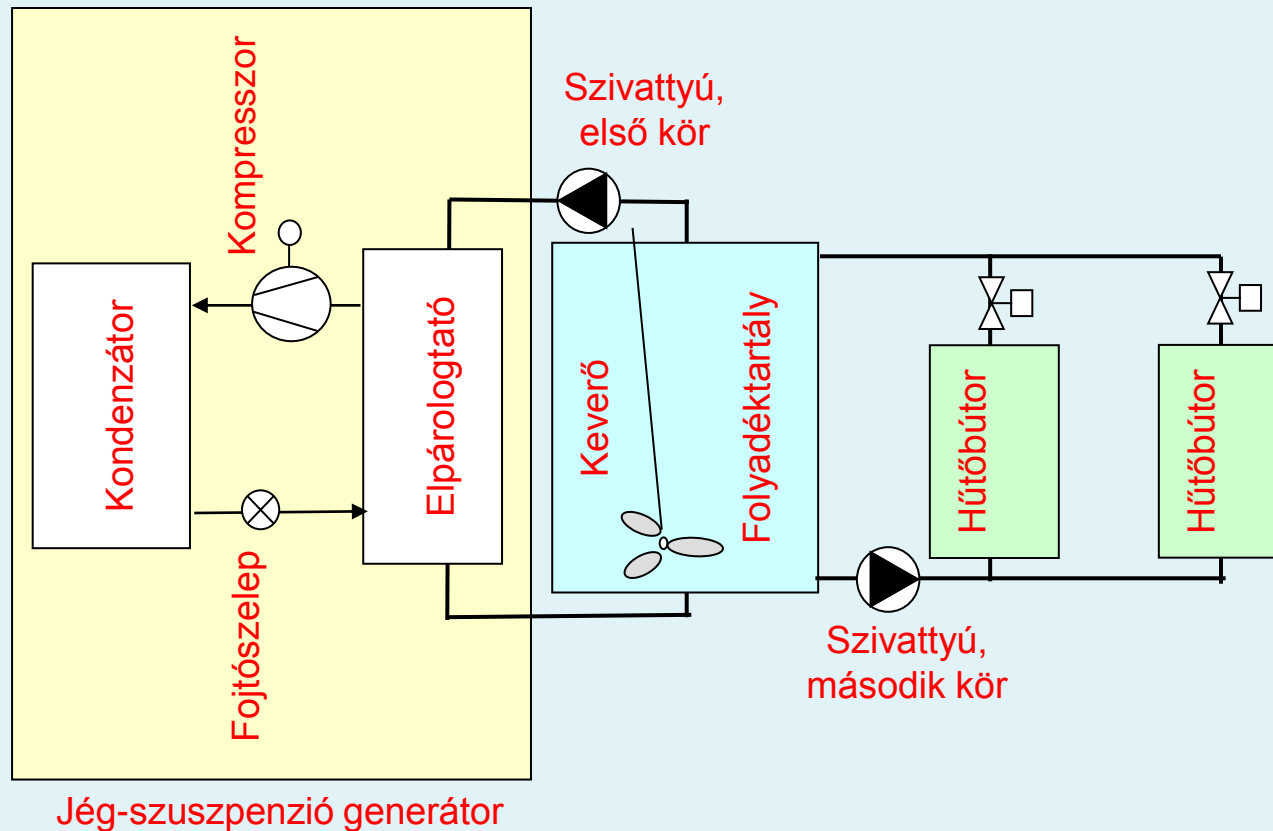
NANO-PCM TARTALMU CSOMAGOLÓANYAGOK

Nano-PCM anyagokat tartalmazó kompozitok, a termék hőmérsékletének megőrzésére.



HŰTŐBÚTOROK HŰTÉSE JÉG - SZUSZPENZIÓVAL

HŰTŐRENDSZER KAPCSOLÁSI VÁZLATA



DINAMIKUS SZABÁLYOZOTT LÉGTERŰ TÁROLÁS, „DCA”



„HAGYOMÁNYOS” SZABÁLYOZOTT LÉGTERŰ („CA” VAGY „ULO”) TÁROLÁS

A szabályozott légterű (Controlled Atmosphere, CA) tárolásnál egy hermetikusan zárt, vákuum alatt álló térben, valamennyi klímajellemző: hőmérséklet, relatív páratartalom, gázösszetétel szabályozásra kerül. Többféle szabályozott légterű tárolás ismert, de legtöbbször az O_2/CO_2 arány beállítása és szabályozása biztosítja a minőség jobb megőrzését. Fontos még az etilén mennyiségének szabályozása és elnyelése is. Ilyen az ultra alacsony oxigéntartalmú légterűben (Ultra Low Oxygen, ULO) való tárolás is. Ilyenkor a szabályozás célja egy ajánlott paramétersor időben állandó fenntartása a tárolás során. Ezzel a tárolási móddal zöldség- és gyümölcsfélék élettartama jelentősen meghosszabbítható.

„DINAMIKUS” SZABÁLYOZOTT LÉGTERŰ TÁROLÁS („DCA”)

Megfigyelések szerint a zöldség- és gyümölcsfélék fiziológiai folyamatai (pl. légzése, a respiráció) nem állandó a tárolás alatt, tehát nem – állandó lég – összetételt igényelnek.

A DCA azt jelenti, hogy a légtér összetételét a termék fiziológiai folyamatának megfelelően, és annak alapján, a tárolási idő alatt változtatják, szabályozzák. A Frisbee - projekt egyik célja: a dinamikus szabályozáshoz szükséges érzékelők és szabályozási elemek fejlesztése, amelyek alkalmazásával a termék tárolási ideje tovább növelhető.

