



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa Investeeringud
maapiirkondadesse

Füüsikaliste tegurite mõju piima ja piimatoodete kvaliteedile ning ohutusele

DSc. Priit Elias
BioCC

Piimatoodete valmistamisel enam kasutatavateks
ja protsesse mõjutavateks füüsikalisteks teguriteks on
täna vaadeldavad:

- temperatuur
- rõhk
- ultraviolettkiirgus
- ultraheli

Temperatuur

- Piima termilist töötlust kasutatakse nii toorme ettevalmistamisel kui ka toodete tootmisel.
- Piimatoodete peamise toorme **toorpiima mikrobioloogilise ohutuse tagamiseks** tarbimisel see eelnevalt töödeldakse termiliselt.
- Toorpiimas võib leiduda nii keskkonna mikroobe kui ka inimesele ohtlikke haigustekitajaid
- Piima saastumine võib toimuda lüpsil udara ja nisade pinnalt, lüpsjalt, õhust, torustikust, lüpsi- ja jahutusseadmetelt, nakatunud loomadelt jne.

- Toorpiima **termilise töötamise eesmärk on:**
 - vähendada piimas olevate mikroorganismide arvukust,
 - hävitada patogeensed mikroorganismid ja tagada toote mikrobioloogiline ohutus,
 - pikendada piima säilivusaega,
 - inaktiveerida toorpiimas leiduvad termolabiilsed ensüümid (näit. lipaas jt.),
 - valmistada piim ette järgnevateks tehnoloogilisteks etappideks (näit. füüsikal. keemilised ja mikrobiol. muutused fermentatsiooniks)

Termiseerimine

- Termiseerimine on toorpiima **kuumutamine temperatuuril 57-68 °C 15 sek.** (harilikult 62-68 °C).
- Termiseerimine on piima **termiline töötlus pastöriseerimise temperatuurist madalamal temperatuuril**, et:
 - pikendada toorpiima säilivusaega madalatel temperatuuridel (ca 2-3 päeva),
 - vähendada juustupiimas bakterite üldarvu ja luua soodsad tingimused juuretiste kultuuridele,
 - vähendada piimas **termolabiilsete psührotroofsete bakterite hulka**, et pidurdada **termostabiilsete** proteaaside lipaaside ja fosfolipaaside produktsiooni,

- pikendada UHT-piima tehnoloogias piima säilivusaega, sest psührotroofsete bakterite poolt produtseeritud ensüümid on temperatuuridel 55-65 °C vähem termoresistentsed kui temperatuuridel üle 70-80 °C.
- pikendada fermenteeritud piimatoodete säilivusaega, termiseerides toodet pärast fermentatsiooni temperatuuridel 55-65 ° 20 sek kuni 10 min.

(termiseerimine võimaldab näit. hapupiimajookides inaktiveerida kogu fermentatsiooni protsessis osalenud mikrofloora ja tulemusena säilib termiseeritud jook ka toatemperatuuridel mõned kuud).

- Termiseerimine pole piisav, et toota tööstuslikku joogipiima või hapupiimatooteid, sest termotolerantsed toidupatogeenid võivad jääda ellu.
- Termiseerimisel **juustutehnoloogias** on teatud eelis, kuna säilivad suuremas osas kõik piima esialgsed keemilised ja füüsikalised omadused

Piima pastöriseerimine

- Piima pastöriseerimine on piima kuumtöötlus sellistel temperatuuridel, **mis minimeeriks piimas patogeensete mikroorganismide olemasolul võimalikku ohtu tarbija tervisele**, samas säilitades võimalikult palju piima füüsikalisi, keemilisi ja organoleptilisi omadusi.
- Piima **pastöriseerimise liigid**:
 - kestepastöriseerimine 63-65 °C, 30 min. (*LTLT*)
 - lühiajaline pastöriseerimine 72-75 °C, 15-20 sek. (*HTST*)
 - kõrgpastöriseerimine 80-85 °C, 1-5 sek. (*HTST*)

- Pastöriseerimisel **hävivad**:
 - kõik termolabiilsed mikroorganismid
 - enamik kuumaresistentseid spore mitte moodustavaid patogeene
 - vähem kuumaresistentsed toiduohutuse seisukohalt tähtsad mikroobid (*Salmonella* spp, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter* spp., *E. coli* O157:H7)
 - inaktiveeritakse termolabiilsed ensüümid
- Pastöriseerimisel **jäävad ellu**:
 - termoresistentsed asporogeenid,
 - termoresistentsed sporogeenid,
 - termostabiilsed ensüümid (*Pseudomonas fluorescens*)

- Piima **pastöriseerimisel toimuvad muutused**:
 - väheneb piima tihedus, viskoossus ja gaaside sisaldus;
 - vadakuvalkude osaline denatureerumine (10-20%), (denatureerunud vadakuvalgud agregeerivad või liituvad kaseiini mitselliga. Algselt agregeerivad α -laktalbumiin ja β -laktoglobuliin laktoferrin. Järgnevalt liituvad-kaseiini ja β -laktoglobuliini molekulid, mis on märkimisväärne alles steriliseeritud piimas).
 - denatureerunud vadakuvalkude valguse peegeldusvõime muutuse tõttu võib muutuda piim värvilt valgemaks.
 - toimub immuunsüsteeme tugevdavate komponentide mõningane denatureerumine (keskmiselt 20-30%)

- muutused kaseiini mitsellis (mitselli diameetri vähenemine),
- piimarasva keemilises koostises muutusi ei toimu, kuid väheneb rasvakuulikeste võime tõusta piima pinnale,
- ei mõjuta laktoosi keemilist koostist,
- vitamiinide A, D, ja E sisaldus oluliste muutusteta ,
- väheneda võivad vitamiini C sisaldus (5-20%), B12 sisaldus (1-10%), B9 sisaldus 3-5%, B6 sisaldus 1-5% ja B1 sisaldus 10%.

- inaktiveeruvad toorpiima naturaalsed ensüümid (bakterite poolt piima säilitamisel produtseeritud ensüümid on resistentsemad sõltuvalt bakteri liigist)
- võib tekkida keedumaitse (kuumutamisel üle 75 °C eralduvad väävlit sisaldavatest aminohapetest sulfhüdrüülrühmad, moodustuvad vesiniksulfiidid, merkaptaan jt. ühendid),
- ei muutu piimavalkude toiteväärtus

UHT töötlemine

- Piima kõrgkuumutamine ehk UHT töötlemine toimub temperatuuril 135-140 °C, 1 sek.
- Piim kuumutakse algselt keskmiselt temperatuurini 70°C, segatakse auruga ning temperatuur tõuseb lühikese aja jooksul 135-145°C millele järgneb kiire jahutamine.
- Piima UHT töötlusel:
 - **inaktiveeritakse** kuni 100% piimas leiduvast mikrofloorast,
 - **aktiivseks jäävad:**
 - termoresistentsed mikroobid (*Bacillus* spp.) ja nende spoorid ning
 - psührofiilsete poolt produtseeritud eksoensüümid.

- **UHT töötamise mõju piima koostisele:**
 - esineb märkimisväärne vitamiinide kadu,
 - piim sisaldab veidi rohkem vabu rasvhappeid, kuid vähem asendamatuid rasvhappeid võrreldes pastöriseeritud piimaga,
 - muutub kaseiini mitsellide struktuur (hõredamad ja diameetrilt suuremad),
 - vadakuvalgud denatureerinud 40-60%

Steriliseerimine

- Piima kuumutatakse temperatuuril 115-120 °C, 20-30 min.
- Steriliseerimisel **inaktiveerib** 100% kogu piimas olev mikrofloora ja kõik nende spoorid
- Steriliseeritud piima säilitamisel võivad toimuda ensümaatilised muutused (maitse ja värvuse muutused)

- Steriliseerimise **mõju piima koostisele:**
 - vadakuvalgud denatureerivad kuni 85%,
 - kaseiinis toimuvad struktuursed muutused (mitsellid on hõredamad, diameeter suurem; pikemaajalisel kuumutamisel temperatuuril 125 °C võib ilmned a koagulatsiooni),
 - denaturatsioon ei muuda oluliselt valkude toiteväärtust,
 - toimub Maillardi reaktsioon; (tulemuseks suhkrute karamelliseerumine ja piima värvuse muutumine pruunikaks),
 - (aldehüüdid, ketoonid ja suhkrud reageerivad aminohapetega, amiinidega, ja peptiididega. Valkudest osalevad reaktsioonis β -globuliin ja kaseiin).

- leiab aset vitamiinide kadu, suurem kadu C ja B grupis (5-30%). Hea taluvusega on K, A, D ja E,
- piimarasva koostises olevad triglütseriinid oksüdeeruvad, muutub piima maitse,
- muutub piima kaltsiumi ja fosfori sisaldus, kadu kuni 50%

Rõhk

- **Ultrakõrge rõhk (*Ultra high pressure UHP*)**
- Piimanduses võeti kasutusele 1890 a. kui külmpastöriseerimine
- Kasutatakse rõhku 100-1000 MPa temperatuuril 25 °C, 10 min.
- Saavutatakse sama efekt, mis lühiajalisel pastöriseerimisel (72-75 °C, 15-20 sek. (*HTST*) patogeensete ja roisubakterite inaktivatsioon).

- Muutused piima koostises:
 - kaseiini mitsellid lõhustatakse väiksemateks üksusteks,
 - suureneb kaseiini ning kaltsiumfosfaadi kogus piima seerumis,
 - rõhkudel üle 500 MPa toimub mõningane vadakuvalkude denaturatsioon eriti β -laktoglobuliini, immunoglobuliinide ja α -laktoalbumiinide osas,
 - märgitakse, et rõhkudel üle 500 MPa ja temperatuuril 25-50 °C vähendab rasvakuulikeste läbimõõtu.

- Ultrakõrgete rõhkude kasutamine hapupiimatoodete valmistamisel parandab:
 - kalgendi tekstuuri ja tugevust,
 - vähendab süneresi ja
 - suurendab vee siduvust võrreldes tavapäraste piima käsitusmeetoditega.

Homogeniserimine

- Toimub piima **rasvakuulikeste pihustumine**, kus mõjuvateks teguriteks on rõhk, temperatuur, voolukiiruse erinevus ja klapipilu kuju
- Rasvakuulikeste arv suureneb ca 1000 korda ja nende üldpind 8-10 korda
- Homogeniseerimisel puruneb rasvakuulikeste kile. Tekib uus kile, milleks kasutatakse nii kaseiini mitselle kui ka seerumi valke.
- Deformeeruvad kaseiini mitsellid (piima kalgendumisel pehmem kalgend)

- Režiimi valik:
- mida madalam on toote rasvasisaldus, seda kõrgemaid rõhkusid kasutatakse.
- Kasutusel on:
 - kõrgsurve homogeniseerimine, 10-30 MPa,
 - madalsurve homogeniseerimine, 0,5-3 MPa.
 - optimaalne temperatuur 60-70 °C.
- Rasvakuulikeste sekundaarse liitumise vähendamiseks kasutatakse kaheastmelist homogeniseerimist (kaks homogenisaatorit järjestikku).

Membranfiltratsioon

- Membranfiltratsioon **on vedelike fraktsioneerimise protsess** kus:
 - vedeliku juhtimisel rõhu all üle poorse membraani tõuseb membraani pinnale jäävas fraktsioonis (kontsentraadis) teatud komponentide sisaldus
 - läbi membraani liikuvas fraktsioonis, (filtraadis, permeaadis) komponentide kontsentratsioon väheneb.
- Piimatööstuses on võimalik fraktsioneerida piima:
 - koostisosade kontsentreerimiseks ja
 - erineva suuruse ning molekulmassiga molekulide fraktsioneerimiseks.

- Kasutatakse nelja membraanfiltratsiooni liiki (erinevad kasutatavate membraanide ehituse, seadmete konstruktsiooni ning töödeldava toorme poolest).
- Need oleks:
 - hüperfiltratsioon e. pöördosmoos
 - nanofiltratsioon
 - ultrafiltratsioon
 - mikrofiltratsioon

Tabel 1. Membraanfiltratsiooni liigid

Liik	Rõhk, bar	Filtraat	Kontsentraat	Pooride suurus, μm
Hüperfiltratsioon e. pöörd-osmoos	30-60	vesi	Soolad, laktoos, valgud, rasv, bakterid	$10^{-4} - 10^{-3}$
Nanofiltratsioon	20-40	Vesi soolad (osaliselt)	Soolad, laktoos, valgud, rasv, bakterid	$10^{-3} - 10^{-2}$
Ultrafiltratsioon	1-10	Vesi, soolad, laktoos	Valgud rasv bakterid	$10^{-2} - 10^{-1}$
Mikrofiltratsioon	<1	Vesi, soolad, laktoos, valgud (osaliselt)	Valgud, rasv bakterid	$10^{-1} - 10^1$

Hüperfiltratsiooni

- kasutatakse vee eemaldamiseks, et kontsentreerida lahuseid (vee eemaldamiseks vadakust, kontsentraati pulbri tootmisel või jäätise ja jogurti valmistamisel).

Nanofiltratsioon on vedelike osaline demineraliseerimine

- ühevalentsete ionide (Na,Cl) eemaldamine ja
- orgaaniliste komponentide kontsentreerimine.
- näiteks soolade eemaldamine vadakust, ultrafiltraadist või ultrafiltraadi kontsentraadist.

Ultrafiltratsioon

- Vedeliku juhtimisel rõhu all üle poorse poolläbilaskva membraani **eraldatakse kolloidosakesed ja suuremad molekulid** (kontsentraat).
- Vesi ja vees lahustunud väikesed molekulid liiguvad läbi membraani (ultrafiltraat).
- Kasutatakse näiteks
 - valkude eemaldamiseks piimast ja vadakust või
 - valgusisalduse standartiseerimiseks juustu, jogurti või kohupiima tootmisel.
- Ultrafiltraat sisaldab enamuse piimas leiduvast laktoosist, mistõttu kasutatakse sageli laktoosi tootmisel koos hüperfiltratsiooniga.

Mikrofiltratsioon

- Kasutatakse bakterite ja makromolekulide eemaldamiseks.
 - bakterite sisalduse vähendamiseks lõssis, vadakus ja soolvees,
 - rasva eemaldamiseks vadakust ja petist.

- **Baktofuugimine**

- Baktofuugimine on separeerimise eri liik.
- Piimast eemaldatakse spetsiaalse tsentrifuugi (baktofuugi) abil mikroorganismid ja nende spoorid
- Baktofuugimise teeb võimalikuks see, et mikroobide ja nende spooride tihedus on suurem kui piima tihedus .
- Baktofuugis kontsentreeritakse eraldatud mikroobid ja nende spoorid trumli perifeersesse ruumi, millest nad teatud aja möödudes eemaldatakse.

- Puhastatud piim või lõss eemaldatakse vastava väljundsüsteemi kaudu.
- Baktofugaadiga eemaldub ka mingi osa suuremaid kaseiini mitselle

Bactotherm

- Piim soojendatakse eelsoojendis 60-75 °C, baktofuugitakse, pastöriseeritakse ja jahutatakse edasise töötlemiseni
- Baktofugaat pumbatakse läbi plaatsoojusvaheti ja vaakumdeaeraatori auruinzektorisse, kus toimub baktofugaadi segamine auruga ja spooride ning bakterite inaktiveerimine (temperatuur 130-140°C, rõhk 3 bar, hoideaeg 3-4 sek).
- Steriliseeritud baktofugaat jahutatakse.

Ebasoovitav mehaaniline mõju piima käsitlusel tekib:

- piima transpordil tugeval rappumisel (poolik tsisterni sektsioon)
- mitmekordsel pumpamisel (eriti jahutatud piimal)
- õhu sattumisel piima (ebatihe torustik pumpamisel, säilitustankide täitmine)
- intensiivsel segamisel,
- mitmekordsel separeerimisel
- Tulemus:
 - rasvakuulikeste suurus väheneb, osa neist puruneb, eraldub vaba rasv, soodustab lipolüüsi.

Ultraviolettkiirgus

- UV kiirgus on elektromagneetiline kiirgus, lainepikkus väiksem kui nähtaval valgusel (spektri violetne osa), suurem kui röntgenkiirgusel
- Kasutatakse eelkõige ruumide üldiseks desinfitseerimiseks kui nad on tühjad
- Ruumide õhu desinfitseerimiseks
 - Keskkonna läbipaistvus mõjutab toimet

Ultraheli

- Kasutatakse toiduainete tööstuses alates 1960 aastast.
- Ultraheli on heli, mille sagedus on üle 20 000 Hz.
- Inimese kõrv ei suuda ultraheli registreerida aga koer küll ja nahkhiir kasutab seda koguni looduses orienteerumiseks
- Kui vedelikku kiiritada ultraheliga, tekib kavitatsioon.
- Tekivad mullid, mis kasvavad ning seejärel lõhkevad.
- Tekib tohutu energia, mis tuleb kineetilise energia muundumisest mulli sisu soojendamiseks.

- Kavitatsioonimullide temperatuur on umbes 5000 K ehk 1340 °C, rõhk umbes 1000 atm ning soojenemis ja jahtumise kiirused üle 10^{10} K/s
- Lõhkemine on kiirem kui soojusülekanne ning seega tekib lühiajaline lokaliseeritud kuum koht.
- Tekivad ekstreemsed füüsikalised ja keemilised tingimused muidu jahedas vedelikus.
- Ultraheli võimendab keemilist reaktiivsust paljudes süsteemides, mõnel juhul isegi kuni miljon korda.

- Toimivad kõrge rõhk, temperatuur ja nihke jõud
- Sellest tulenevalt võiks UH kasutamine olla alternatiivseks meetodiks rasvagloobulite suuruse vähendamisel ja efektiivselt kasutatav piima homogeniseerimisel.
- Rasvakuulikeste diameeter võib väheneda kuni 0,1- 0,6 µm.
- UH töötusel rasva globuliini membraanid rikastuvad rohkem kaseiini molekulidega kui tavapäraselt
- Ultraheli võib põhjustada muutusi ka piimavalkude struktuuris, nii nende agregatsioonis kui ka denaturatsioonis.

- **Suureneb** lenduvate ühendite hulk piimas, mis põhjustavad keedu lõhna
- **Paranevad** hapupiimatoodete füüsikalised omadused, (tekstuur ja konsistents).
- **Suureneb** toodete veesiduvusvõime, viskoossus ja väheneb süneresis.
- **Suureneb** vadakuvalkude denaturatsioon ning nende interaktsioon kaseiini mitsellidega.
- Kaseiini mitsellidega assotsieerunud vadakuvalgud saavad olla mitsellide vaheliseks sildmaterjaliks, mis **parandab** ka hapupiimatoodete kalgendi moodustumise kiirust

- UH kiirendab kristallide teket jäätise valmistamisel, tulemuseks väiksemad kristallid külmutamisel.
- Kasutatakse mikroorganismide inaktiveerimiseks piimas, vadakus jne.
- Kasutatakse bakteriofaagide inaktiveerimiseks piimas, vadakus jne.
- UH töötlus koos termotöötlusega (*thermosonication*) või UH töötlus koos termotöötluse ja kõrgrõhu töötlusega (*manothermosonication*) tõstab mikroorganismide ja ensüümide inaktivatsiooni efektiivsust
- Samas madala intensiivsusega UH võib suurendada ensüümide aktiivsust vastupidi nende inaktiveerimisele.



Täna tähelepanu eest!