

PORLASZTVA SZÁRÍTÁS

Dr. Pécs Miklós
Dr. Fehér Csaba



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudomány Tanszék



MŰVELETI SORREND

3. Tisztítás → a termék és a szennyező anyagok elválasztása.

Jellemző műveletek:

az összes eddigi
kromatográfia

4. Végtisztítás (polishing) → a terméket a kereskedelmi forgalomba hozás előírásainak megfelelő tisztaságig tisztítják.

Jellemző műveletek:

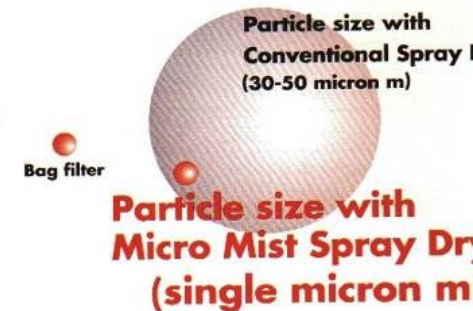
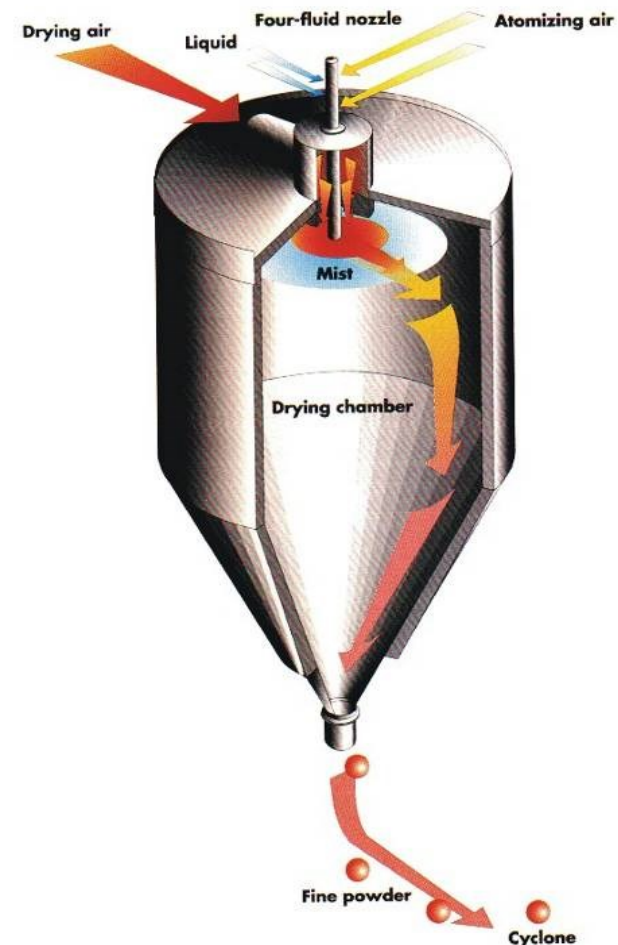
az összes eddigi
kristályosítás
szárítás



PORLASZTVA SZÁRÍTÁS

A szárítás művelete során általában szilárd anyagból párologtatják el az oldószert. A porlasztva szárításnál a folyadékcsseppek felületén megy végbe a párolgás. Az anyag sokáig folyadék, csak a végén - amikor bepárlódik – alakul szilárd porrá.

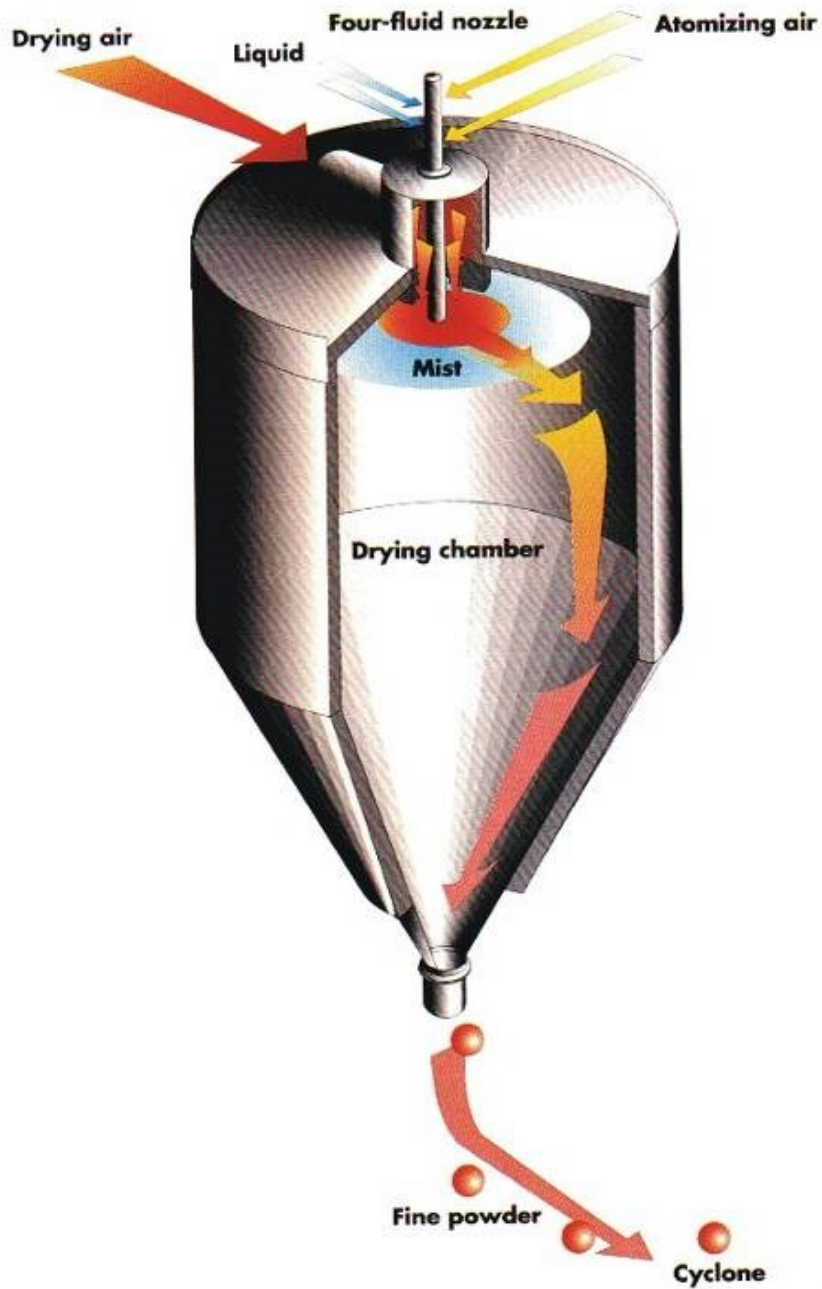
- Porlasztás
- Elpárologtatás
- Porleválasztás (ciklon, szűrő)



PORL

A szárítás művelete általában szilárd anyagot rologtatják el az oldószert porlasztva szárításná. A nedvesség felületén végbe a párolgás. A sokáig folyadék, csak a végén - amikor bepárló - szilárd porrá.

- Porlasztás
- Elpárologtatás
- Porleválasztás (ciklon)

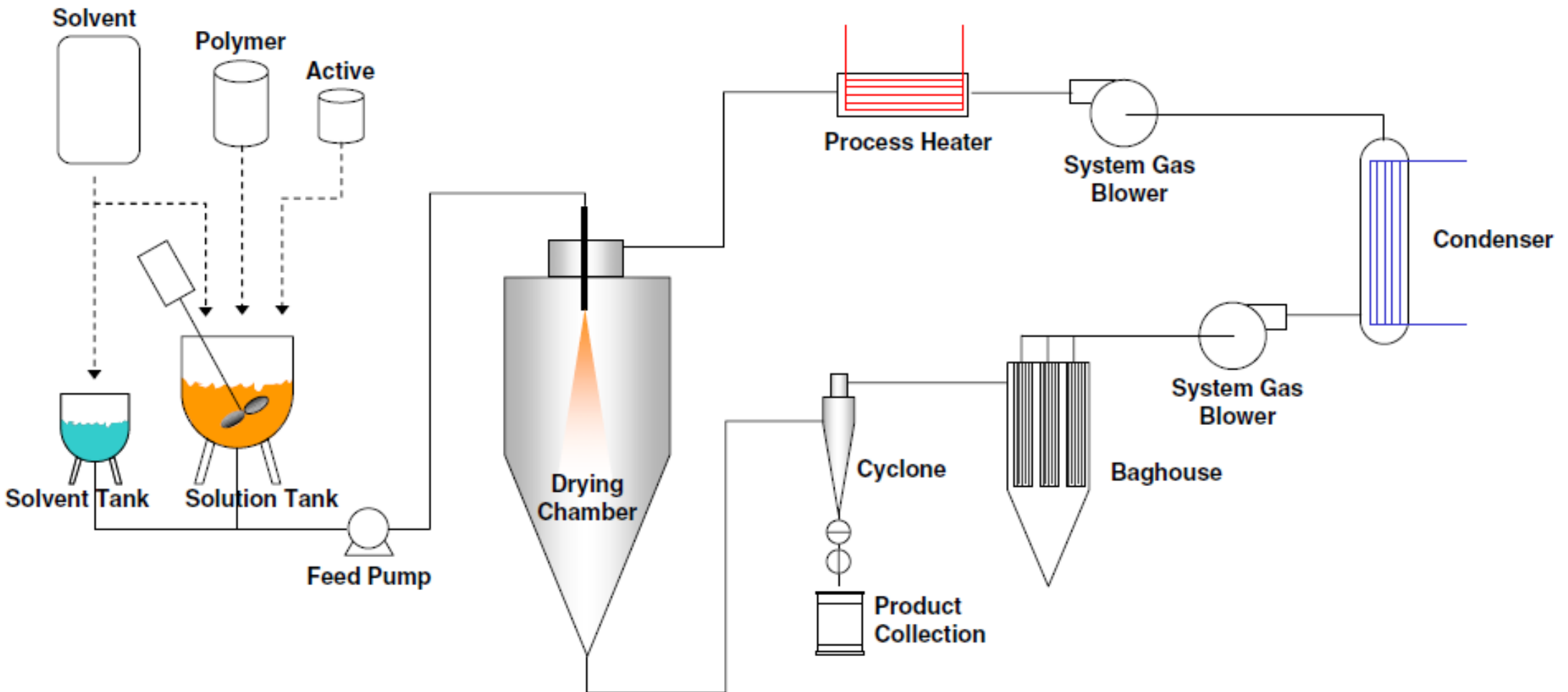


Particle size with Conventional Spray Drying (30-50 micron m)

Particle size with Micro Mist Spray Drying (single micron m)



PORLASZTVA SZÁRÍTÁS

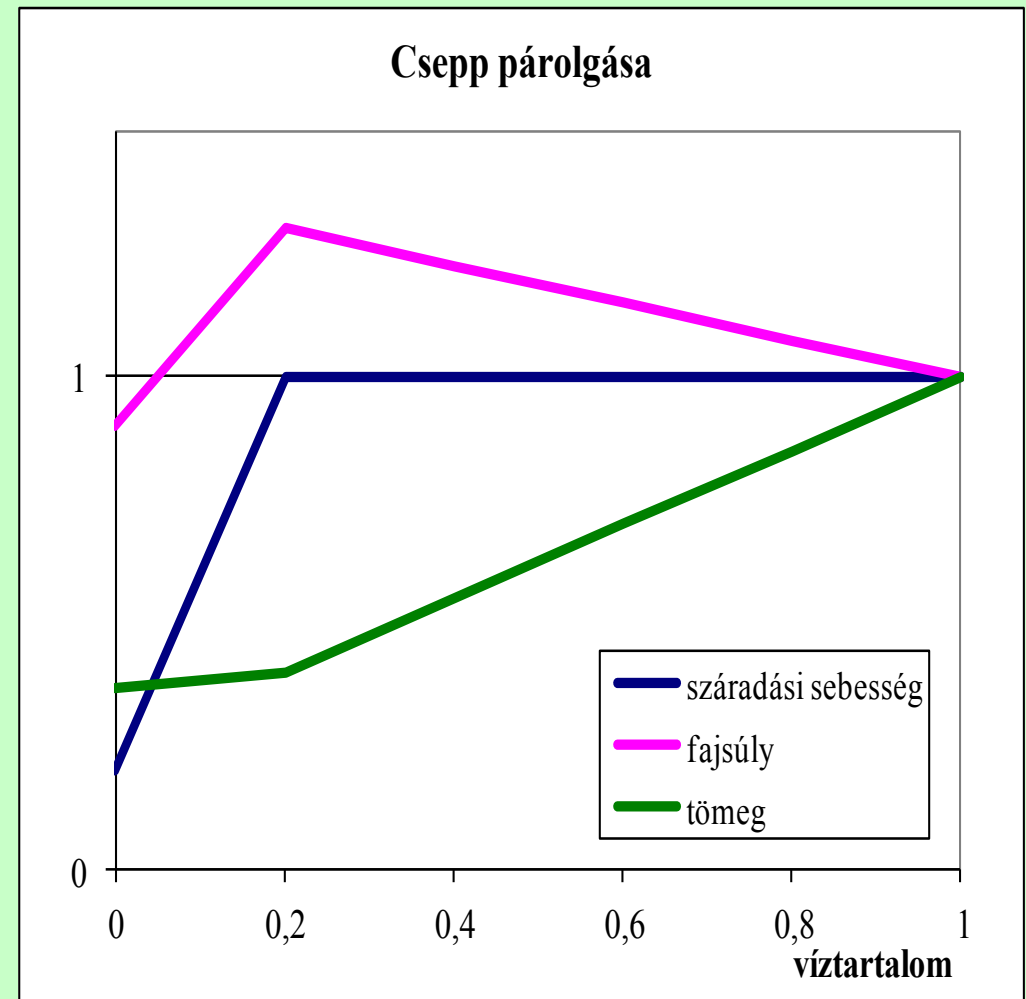


A CSEPPEK PÁROLGÁSA

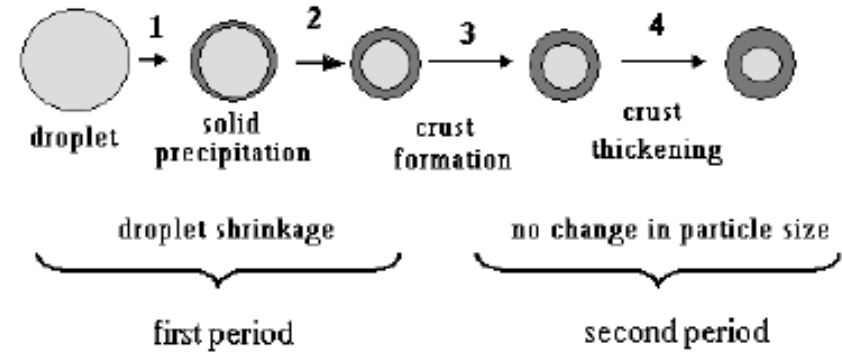
Két szakaszra osztható:

Amíg folyadékfilm borítja a felületet, addig állandó a párolgási sebesség, a tömeg csökken, a fajsúly növekszik.

Amikor a felület „megszárad”, már csak a kapilláris víz távozik – lassabban párolog, a tömeg alig csökken, a térfogat viszont állandó marad, ettől a fajsúly csökken.



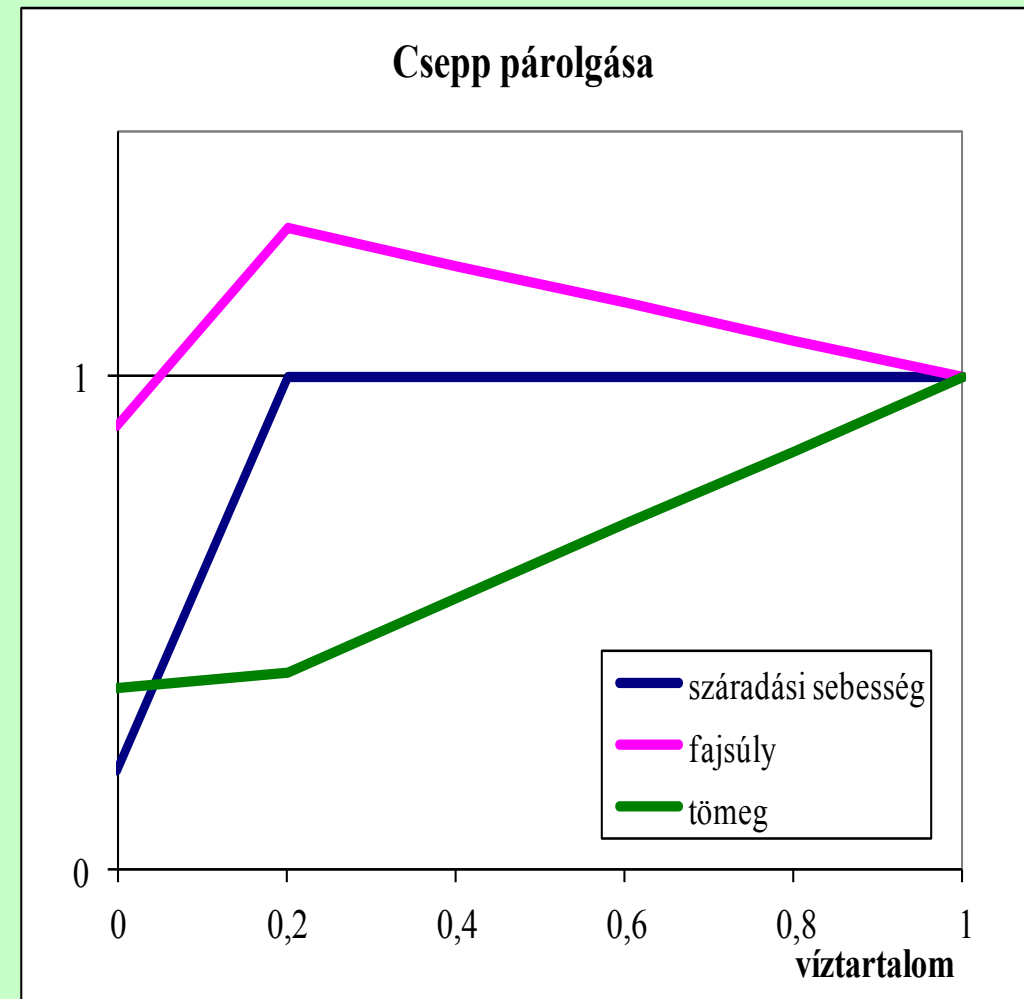
A CSEPPEK



Két szakaszra osztható:

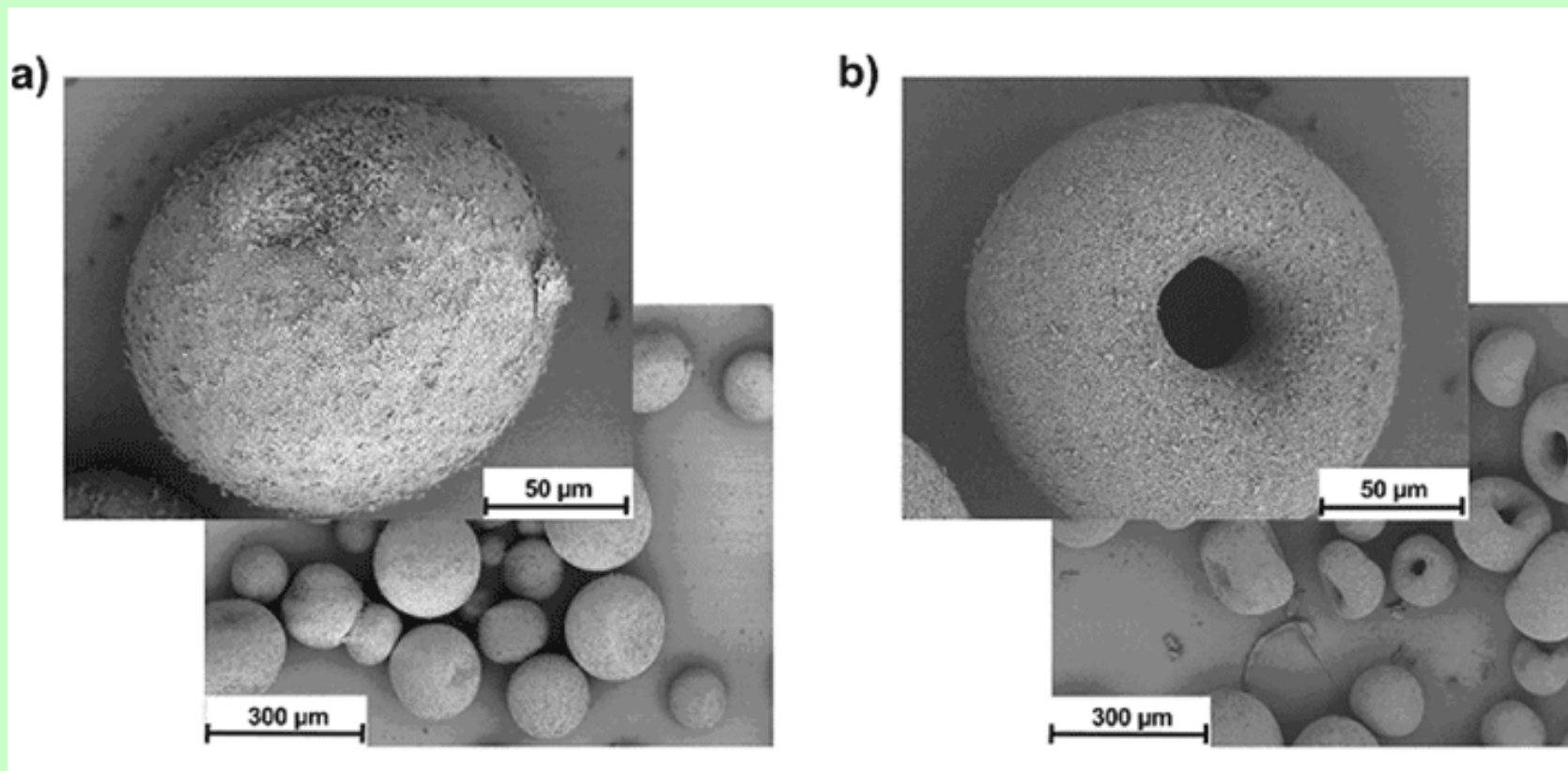
Amíg folyadékfilm borítja a felületet, addig állandó a párolgási sebesség, a tömeg csökken, a fajsúly növekszik.

Amikor a felület „megszárad”, már csak a kapilláris víz távozik – lassabban párolog, a tömeg alig csökken, a térfogat viszont állandó marad, ettől a fajsúly csökken.



CSEPPEK PÁROLGÁSA

A cseppek gyakran kérgesen száradnak, belül üres héjat alkotnak:

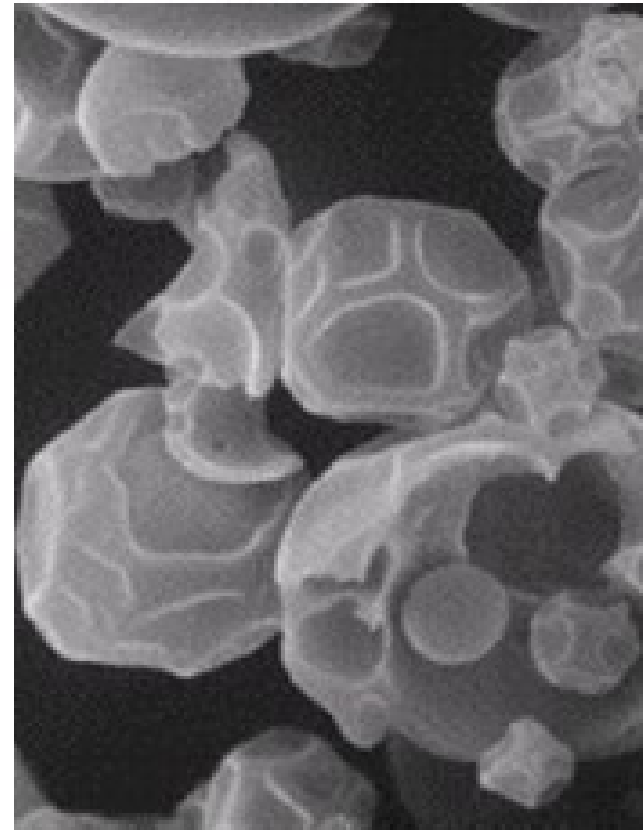
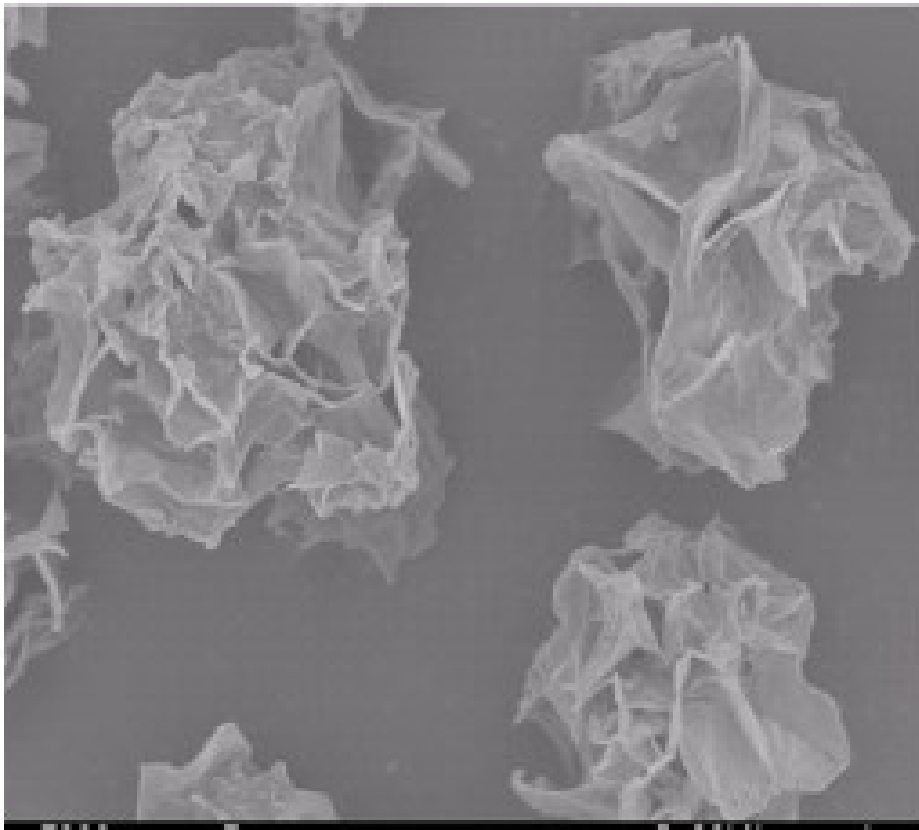


Hígabb

Telített oldatból



CSEPPEK PÁROLGÁSA

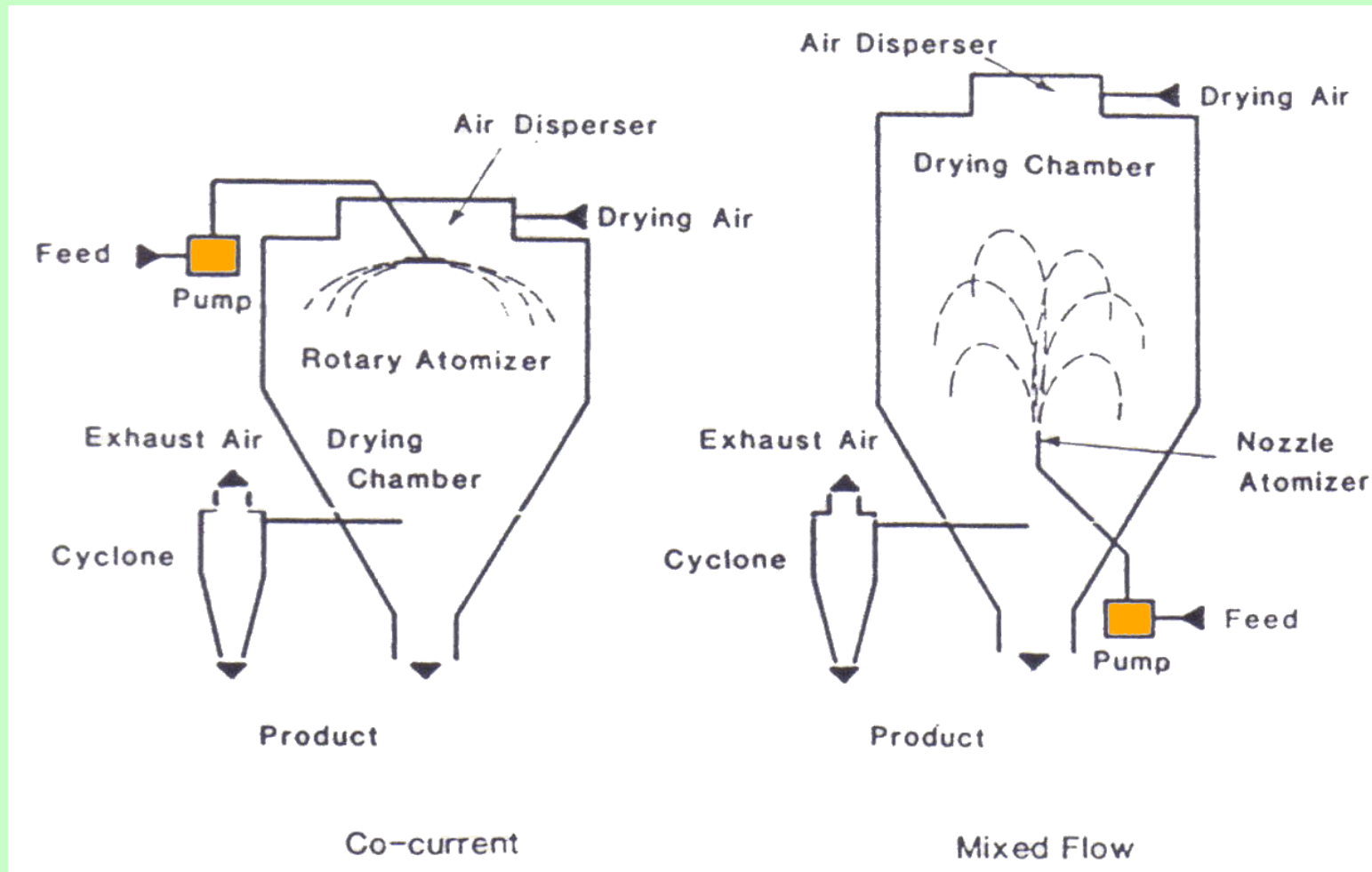


ÁRAMLÁS SZERINT

lehet:

egyenáramú

kevert áramú



PORLASZTÓFEJEK

kialakítása szerint lehet:

- fúvókás
 - » mechanikus
 - » pneumatikus
- forgótárcsás
 - » tárcsás
 - » fúvókás
 - » lapátos

A porlasztás során különböző méretű cseppek keletkeznek. Ezek közül a legnagyobbak ülepednek a leggyorsabban és párolognak el utoljára, ezért méretezésnél a d_{\max} -ot keressük, és erre számolunk.



MECHANIKUS FÚVÓKÁK

= egyfázisú betáplálás (csak folyadék, segédlevegő nélkül). A fúvókában a folyadékot cirkulációs áramlásra kényszerítjük. A forgásban lévő folyadék a nyílásból ki lépve összefüggő folyadékhártyakúpot alkot. A folyadék réteg egyre vékonyodik és végül cseppekre szakad.



MECHANIKUS FÚVÓKÁK

A porlasztás során különböző méretű cseppek keletkeznek. Ezek közül a legnagyobbak ülepednek a leggyorsabban és párolognak el utoljára, ezért méretezésnél a d_{\max} -ot keressük, és erre számolunk.

$$d_{\max} = \frac{8K\sigma_f}{\rho_f V_0^2}$$

Bär egyenlet

ahol:

d - a csepp átmérője

K – anyagi állandó

σ – felületi feszültség

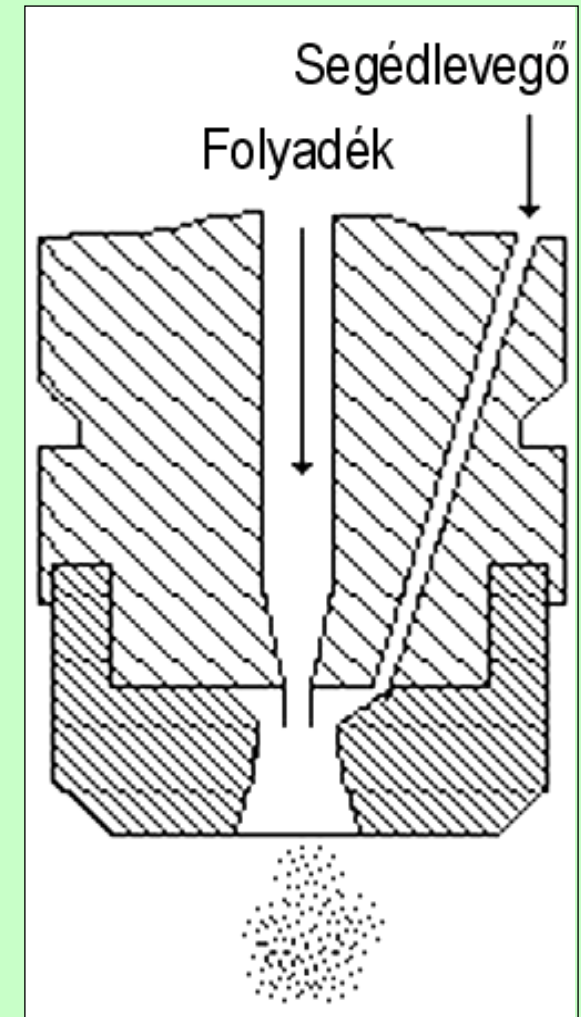
ρ – a folyadék sűrűsége



PNEUMATIKUS FÚVÓKÁK

Kétfázisú, a betáplált folyadékot a fúvókában levegő áram segítségével porlasztják. Kisebbs nyomással dolgoznak és finomabb permetet adnak, mint a mechanikus fúvókák.

Tapadós, viszkózus, anyagok, szuszpenziók szárítására is alkalmasak.



PNEUMATIKUS FÚVÓKÁK

A maximális cseppméretet leíró egyenlet az alábbiak szerint alakul:

$$\frac{d_{\max}}{D} = k \left(\frac{\mu_f^2 \rho_f}{\sigma_f D} \right)^a \left(\frac{\rho_{\text{lev}} v^2 D}{\sigma_f} \right)^{-0,45}$$

ahol D – a fúvóka átmérője
 k és a konstansok



FORGÓTÁRCSÁS PORLASZTÓK

A folyadék adagolása a sík tárcsa közepére történik, ahonnan a centrifugális erő hatására lefut, vékony filmet képezve.

$$d_{\max} = k \frac{D^{0,46} \sigma_f^{0,46} \eta^{0,08}}{v_k \rho_f^{0,54}}$$

A folyadékmennyiség növelése esetén (állandó fordulatszám mellett) a tárcsaátmérőt is növelni kell, ellenkező esetben a képződött cseppek mérete változni fog.



PORLASZTÓK MÉRETEZÉSE

Dimenzió analízissel levezetve a különböző típusú porlasztófejek működési egyenletei egyformává válnak:

$$\frac{d_{\max}}{D} = k \operatorname{Re}^{-0,08} \operatorname{We}_{\text{kap}}^{-0,46}$$

D – jellemző méret (fúvóka átmérő, filmvastagság, rés nyílása)

$$\operatorname{Re} = \frac{vD\rho_f}{\mu_f}$$

$$\operatorname{We}_{\text{kapilláris}} = \frac{\rho_{\text{lev}} v^2 D}{\sigma_f}$$



PORLASZTÓK MÉRETEZÉSE

A méretezés alapja, hogy a legnagyobb méretű csepp is elpárologjon, mire kilép a készülékből.

A csepp útját két szakaszra kell bontani:

- A „fékút”, amíg a fejből kilépő, leszakadó csepp lelassul és felveszi az állandó ülepedési sebességet.
- Az ülepedési szakasz, ahol a csepp állandó (relatív) sebességgel ülepedik.

Mint minden szárításnál, itt is egyidejű hő- és anyagátadással kell számolni.

$$\frac{dq}{dt} = k_g Nu \pi d_i n_i (T_g - T_s)$$

$$\frac{dm}{dt} = \pi D_v \rho_g S h d_i n_i (c_s - c)$$



PORLASZTÓK MÉRETEZÉSE

A második, ülepedési szakasz leírása az egyszerűbb, minden lamináris:

$$\begin{aligned}Nu &= 2 + 0,6 Re^{0,5} Pr^{1/3} \\Sh &= 2 + 0,6 Re^{0,5} Sc^{1/3}\end{aligned}$$

abból a $Nu = Sh = 2$ a tiszta diffúzió, az additív tag pedig a konvekciós transzport.

Kis cseppekre ($d < 80 \mu\text{m}$) az ülepedési sebesség elhanyagolható, az additív tag eltűnik. Ez vizes oldatoknál mindig érvényes – vagy már a porlasztásnál, vagy a párolgás miatti méretcsökkenés következtében.



PORLASZTÓK MÉRETEZÉSE

A fékút leírása bonyolultabb, mert:

- a csepp körül az áramlás nem lamináris
- a csepp még nem gömb alakú, lüktet, hullámzik
- a csepp belsejében is van áramlás, hőtranszport
- a párolgás megvastagítja a felületi határréteget

$$Nu = 3,32 Re^{0,5} Pr^{1/3} Fr^{-0,077} \Delta H / c_p \Delta T$$

Ebben a szakaszban a párolgás sokkal intenzívebb, mint az ülepedésnél. Sokszor a víz 90 %-a itt megy el.

- erre kell figyelni, erre kell méretezni
- ezért jobb az egyenáram

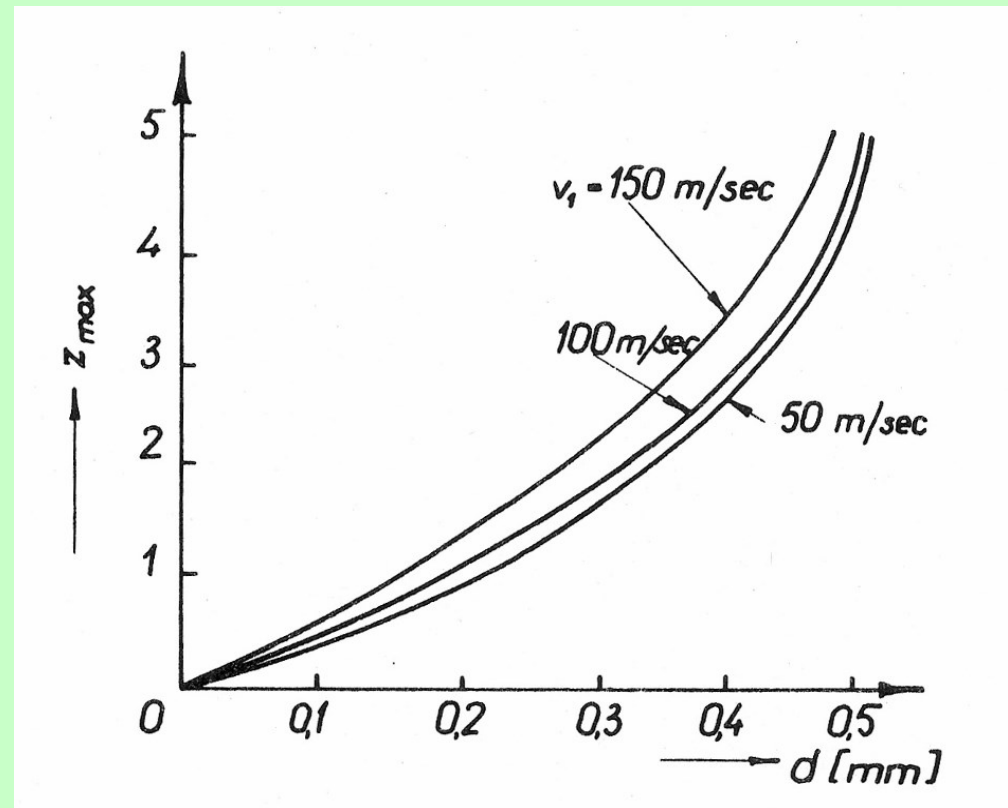


PORLASZTÓK MÉRETEZÉSE

A szárítókamra sugarát tehát akkorára kell venni, hogy a fékút (egyenesen, vagy ferdén) beleférjen.

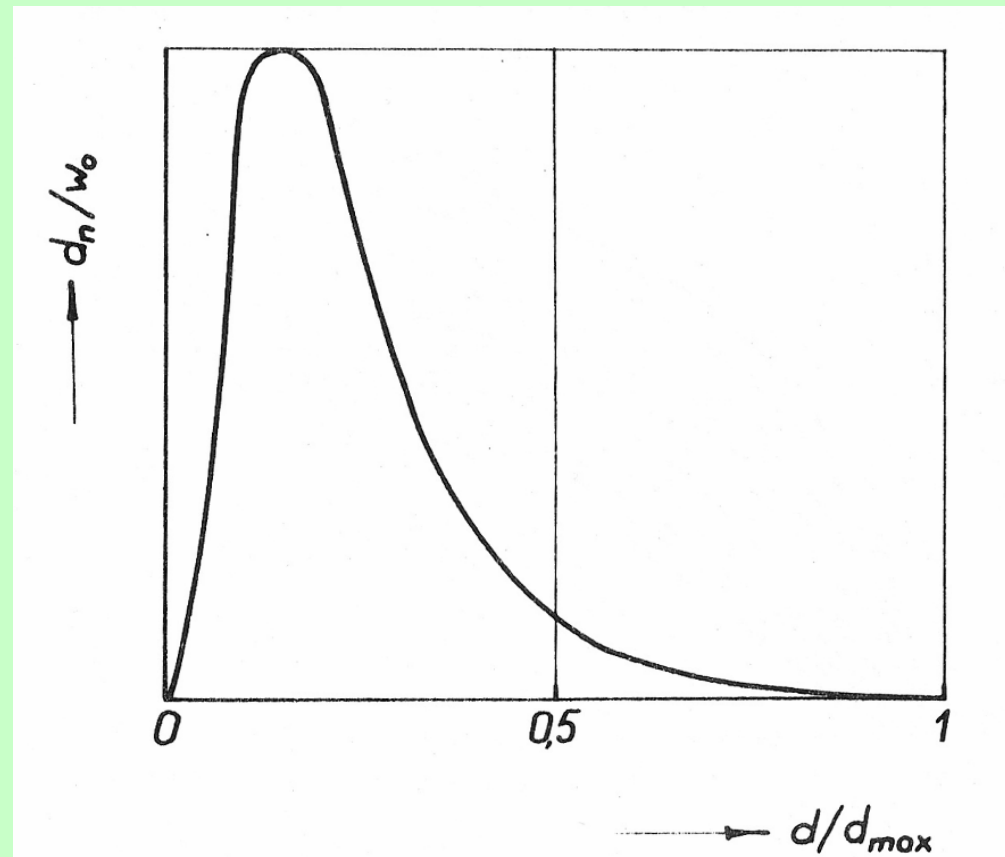
→ a tárcsás porlasztóhoz tömzsi test kell, a fúvókához magasabb, karcsú.

A fékút hossza a csepp-átmérő függvényében közel másodfokú:



SZEMCSEMÉRET

A porlasztva szárításnál kulcsparaméter a termék szemcsemérete. Ez egyenesen arányos a cseppek méretével. A méreteloszlás a porlasztófej típusától és a belépési sebességtől függetlenül:



SZEMCSEMÉRET

A szemcseméret egyenesen arányos a cseppek méretével → nézzük az ezt befolyásoló tényezőket:

A betáplált oldat

- felületi feszültsége
- viszkozitása
- koncentrációja

Első közelítés: újra a Bär egyenlet:

$$d = \frac{8K\sigma_f}{\rho_f v_0^2}$$

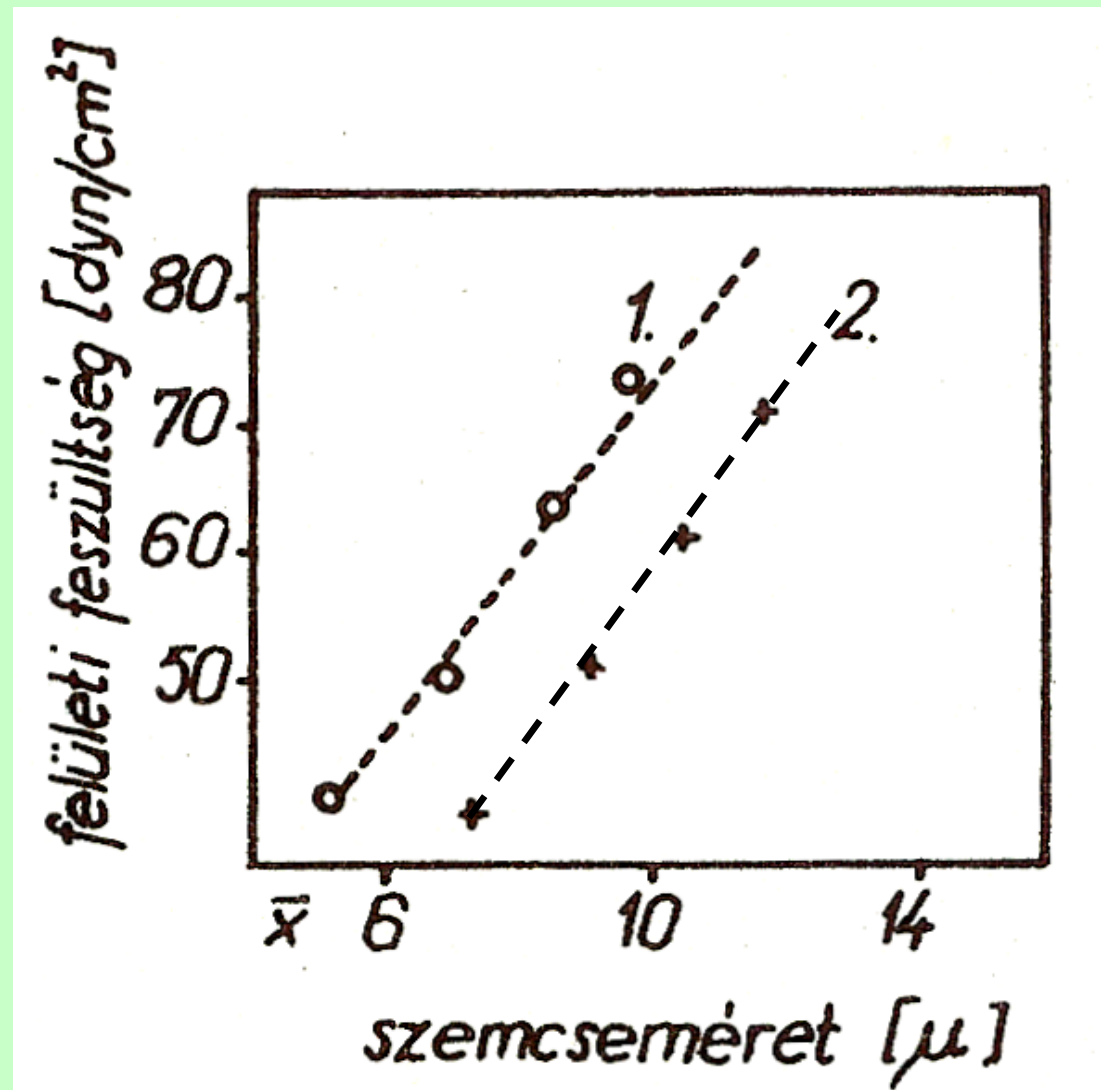
A mérések szerint a viszkozitásnak nincs hatása → egyezik az egyenlettel.



A FELÜLETI FESZÜLTSG

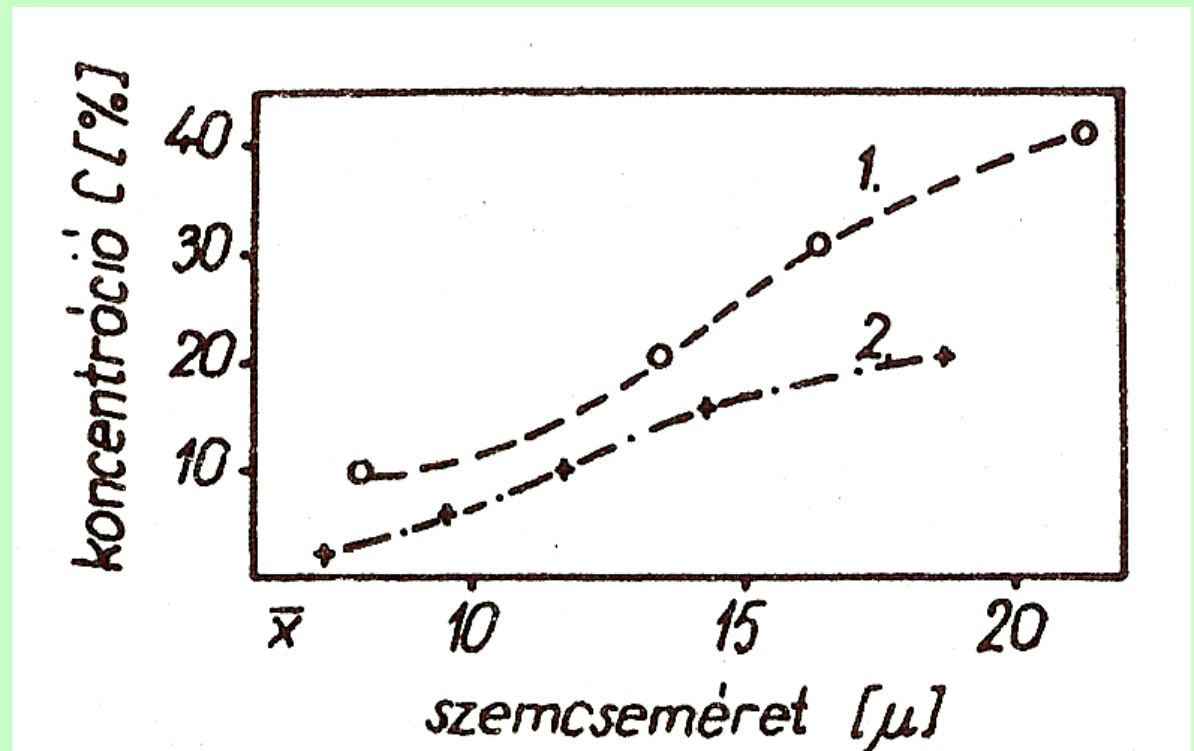
értékét detergensok hozzáadásával szabályozhatjuk.

A mérési adatok igazolják, hogy a kapcsolat tényleg lineáris.



A CSEPPEK MÉRETE

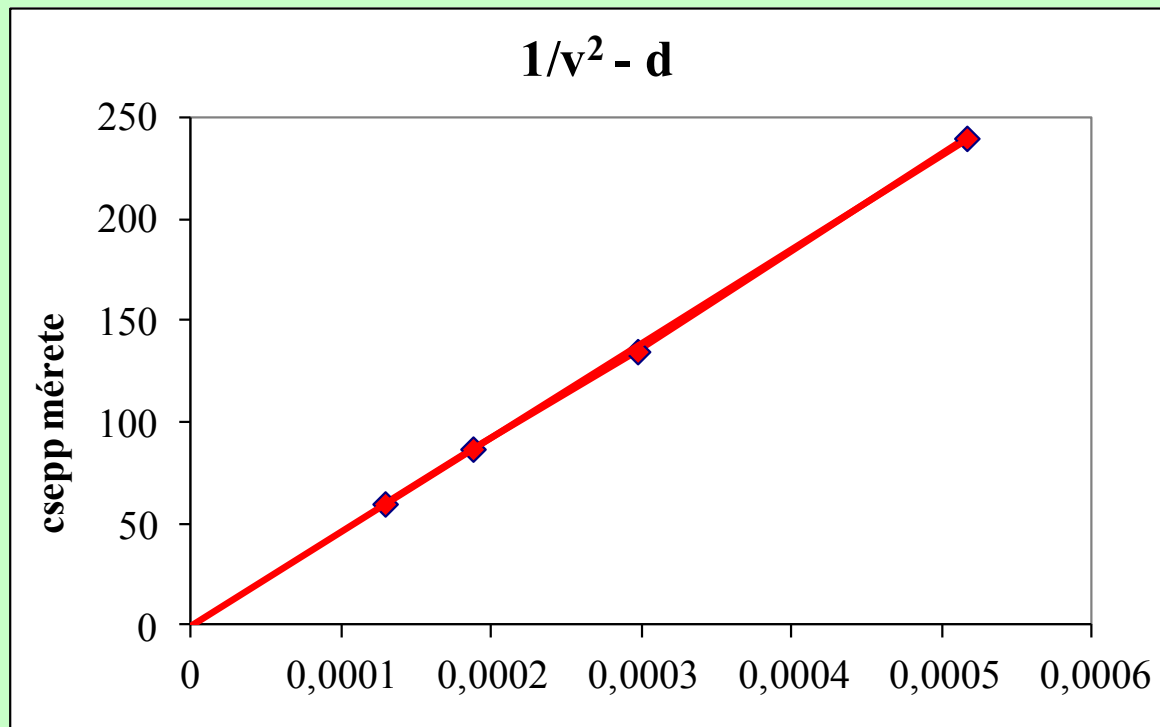
Az oldat koncentrációja direktben nem befolyásolja a cseppek méretét. Viszont növeli a folyadék sűrűségét, ezáltal csökkenti a csepp méretét. A több oldott anyag miatt ugyanakkora cseppekből nagyobb szemcsék lesznek. Kicsit megváltoztatja a felületi feszültséget is → monoton növekvő, de nem lineáris kapcsolat.



A CSEPPÉK MÉRETE

függhet még a belépési sebességtől is (Bär egyenlet):
Ez pedig a porlasztó tárcsa kerületi sebességétől függ:

$$d = \frac{8K\sigma_f}{\rho_f v_0^2}$$



A SZÁRÍTÓ TERHELHETŐSÉGE

A szárító terhelhetőségét az kg elpárologtatott víz/óra mértékegységben adják meg.

$$W (H_{\text{levegő be}} - H_{\text{levegő ki}}) = W_{\text{víz}} H_{\text{párolgási}}$$

A bevitt hő mennyisége a levegő térfogatáramától (fix, beépített érték) és a belépő hőmérséklettől (szabályozható) függ. Ezt az anyag hőérzékenysége szabja meg. Az anyag hőmérséklete a párolgás miatt nem azonos a belépő hőmérséklettel, hanem 100 fok alatt marad (ld. a nedves hőmérő hőmérséklete).



A SZÁRÍTÓ TERHELHETŐSÉGE

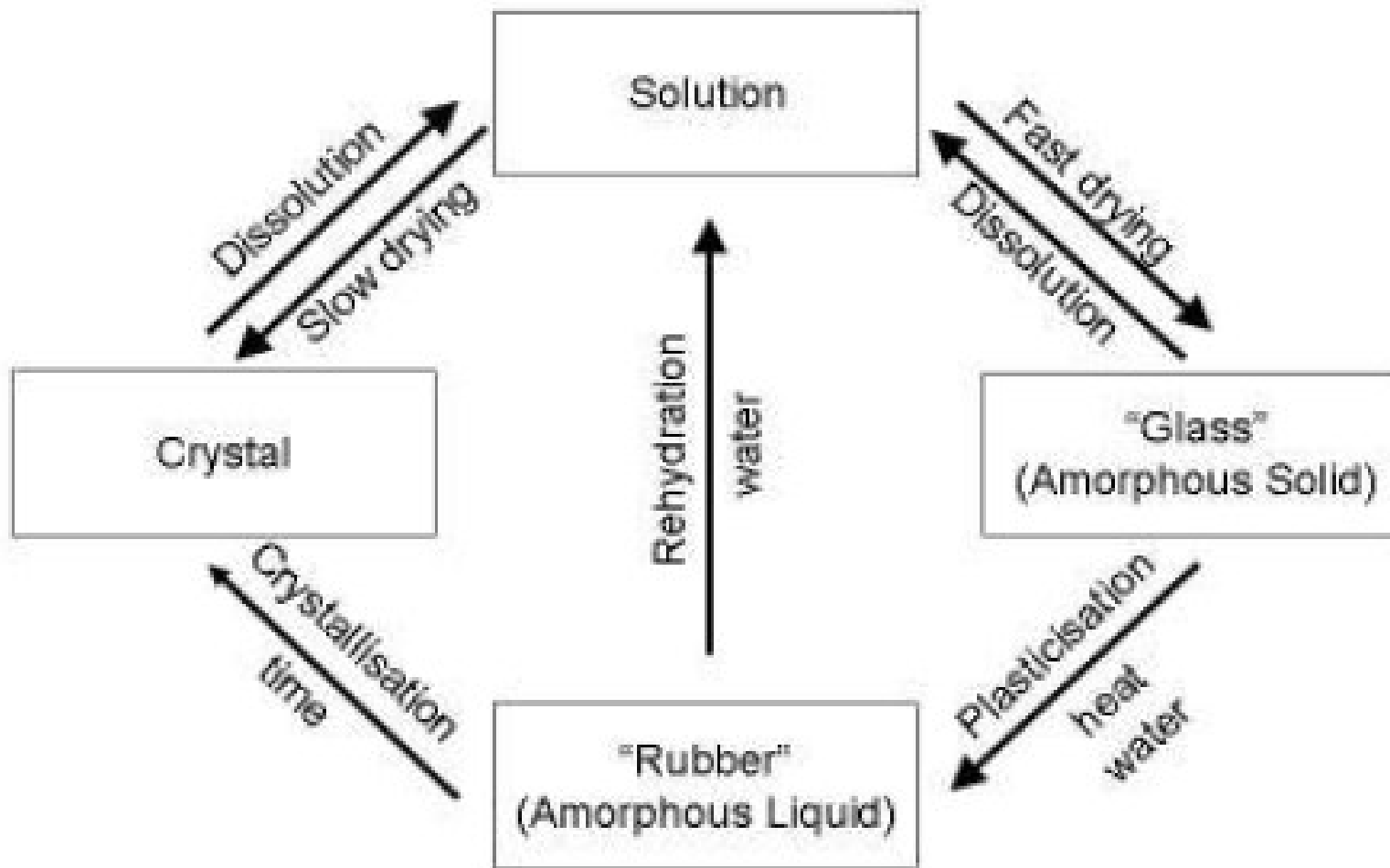
A kilépő levegő hőmérséklete terheléstől függ – minél nagyobb mennyiségű vizet kell elpárologtatni, annál alacsonyabb lesz.

Határérték: az anyag „elegendő mértékben” száradjon meg – ne maradjon benne a kívántnál több víz, és ne tapadjon a készülék és a ciklon falához.

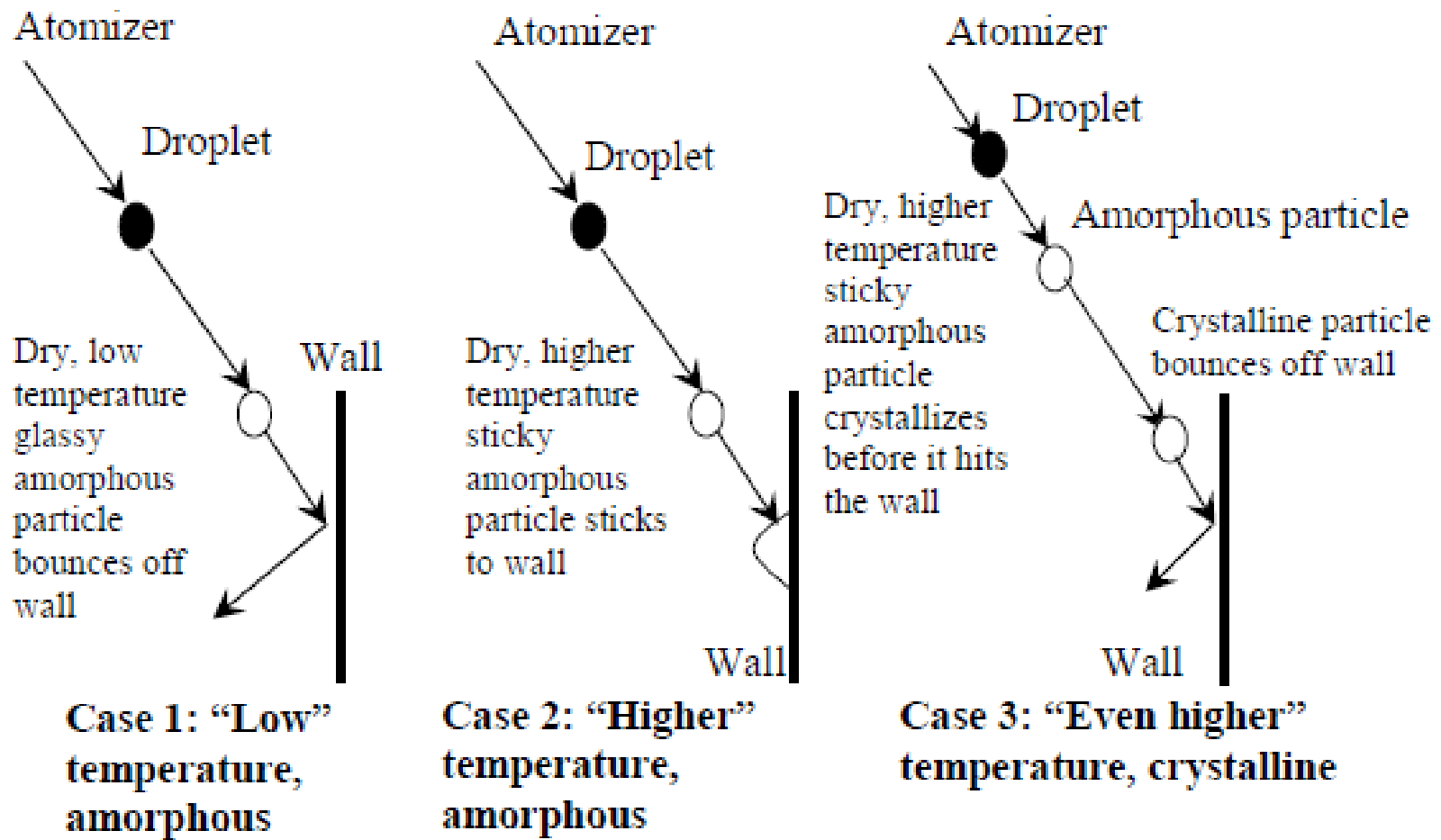
→ tapasztati úton, kísérletekkel lehet meghatározni



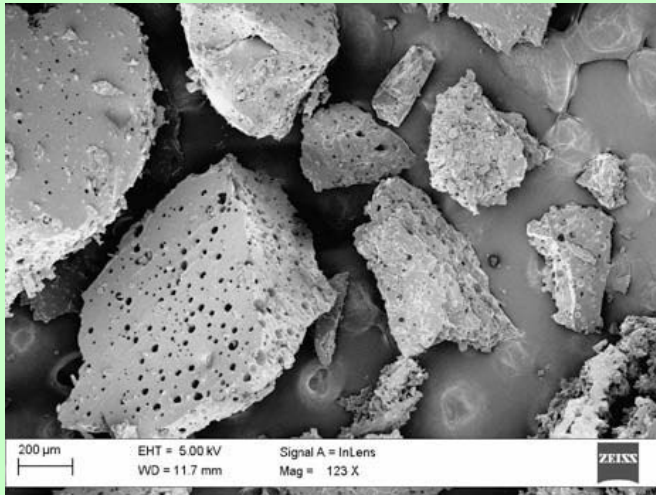
PORLASZTVA SZÁRÍTÁS



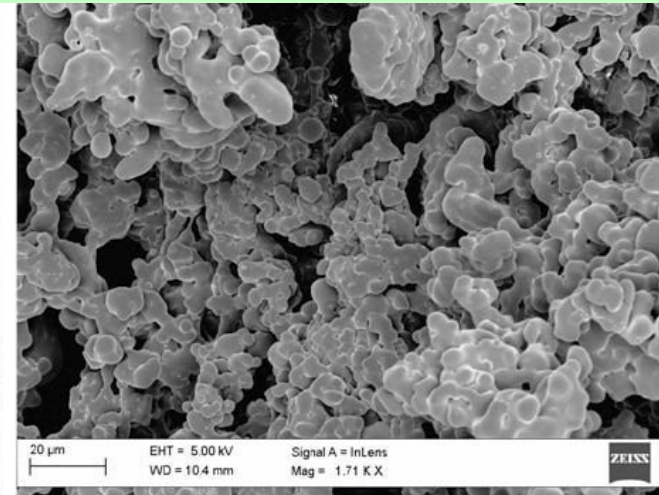
PORLASZTVA SZÁRÍTÁS



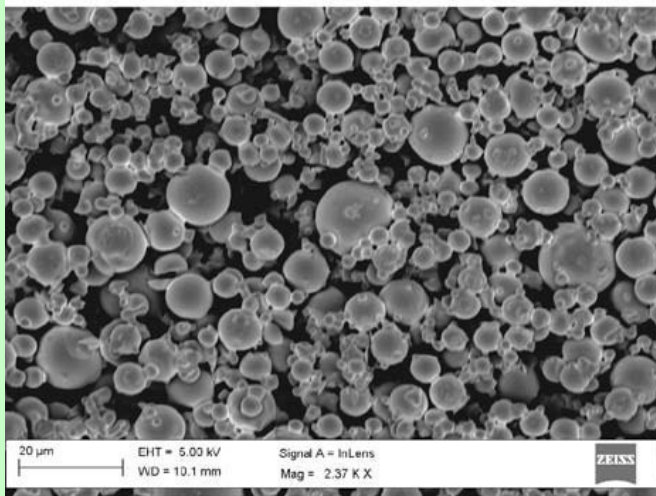
PORLASZTVA SZÁRÍTÁS



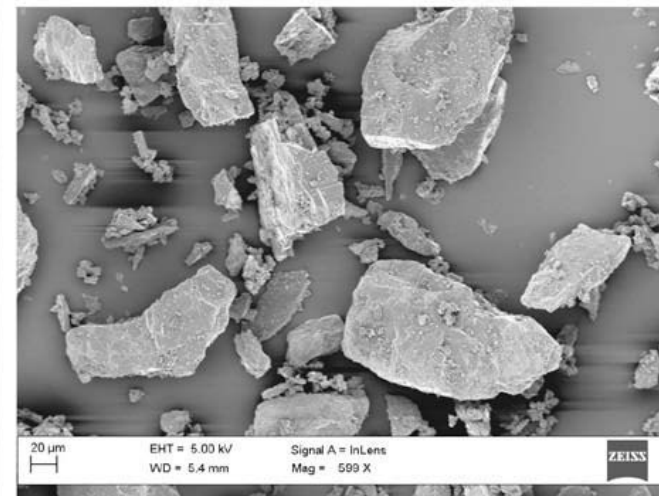
(a) Cyclone wall sample (200°C).



(b) Collection vessel sample (200°C).



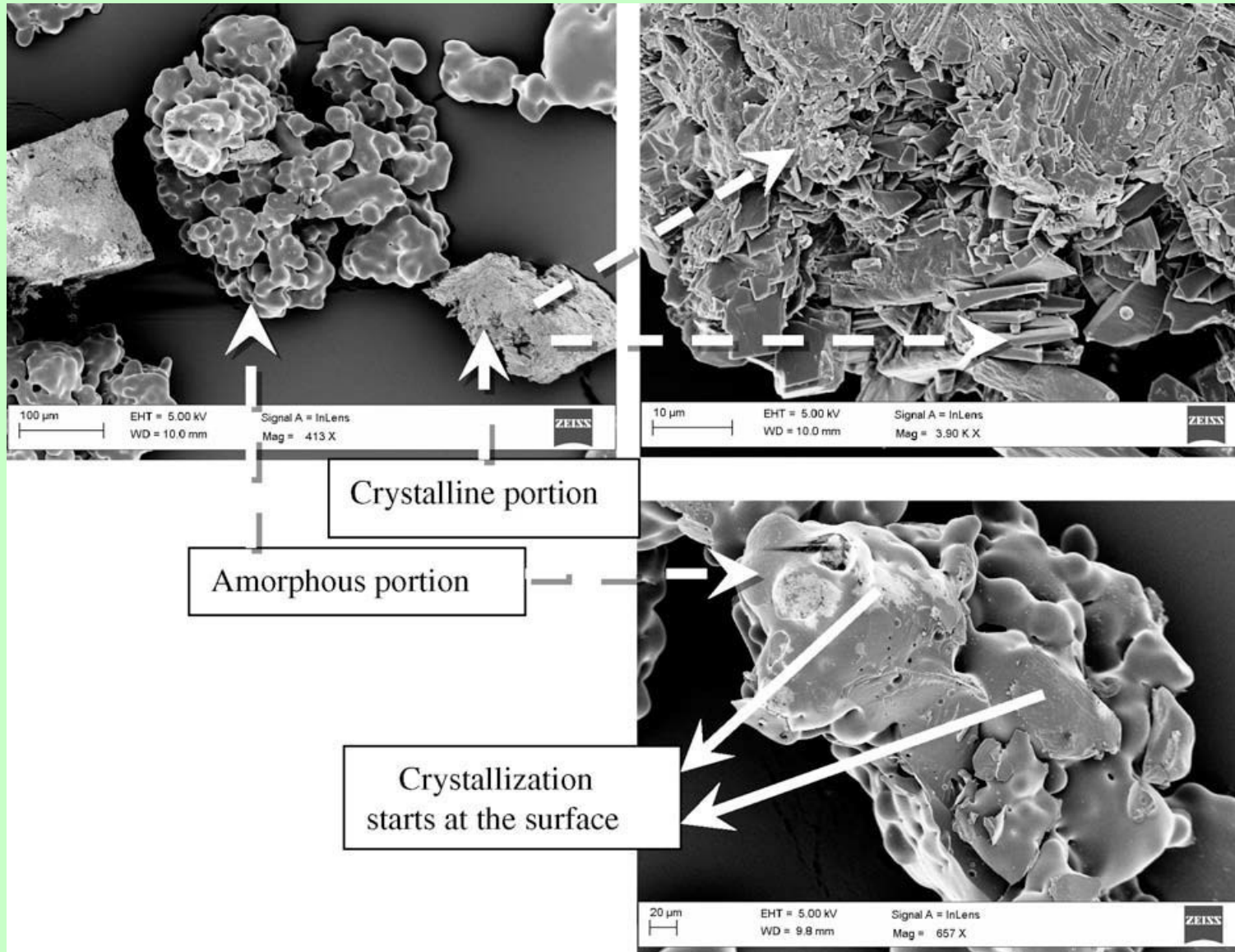
(c) Amorphous lactose (170°C).



(d) Lactose monohydrate crystals.



PORLASZTVA SZÁRÍTÁS



PORLASZTVA SZÁRÍTÁS

Előnyei:

- az apró cseppek miatt nagy a fajlagos felület
- emiatt gyors a párolgás
- emiatt rövid a kontaktidő
- az anyag csak a nedves hőmérő hőmérsékletéig melegszik
- kíméli a hőérzékeny anyagokat

