

1. A mozgatandó anyagok

1.2. A mozgatandó anyagok csoportosítási lehetőségei

A mozgatandó anyagok jellemzéséhez azok különböző szempontok szerinti csoportosítása célszerű. A csoportosítás végezhető:

- a) az anyag fajtája szerint (pl. darabáru, ömlesztett anyag stb.),
- b) az anyag fizikai állapota szerint (szilárd, cseppfolyós, és légnemű halmazállapot),
- c) a csomagolás fajtája szerint (csomagolatlan, zsákba, hordóba, ládába, kartondobozba stb. csomagolt),
- d) az anyag alakja és külső méretei szerint (darabáruknál: kocka alakú, hasáb alakú, henger alakú, lemez alakú, szabálytalan alakú, ill. terjedelmes, nem terjedelmes, ömlesztett anyagoknál: élhosszak viszonya az egyes dimenziókban, élek legömbölyítettek vagy élesek, rostos, szálas, bolyhos stb. ill. mértékadó szemnagyság),
- e) a mozgatandó egységek tömege szerint (könnyű, közepesen súlyos és súlyos egységek),
- f) az anyag különleges tulajdonságai szerint (nyomás alatt vagy önmagától összeálló, abrazív, korrozív, törékeny, forró, hideg, robbanékony, gyúlékony, porképző, nedves, ragadós, higroszkopikus, bűzös, fényérzékeny, higiéniai szempontból érzékeny stb.),
- g) az anyag meghatározott rendkívüli környezeti körülmények közötti viselkedése szerint (pl. hűtőházban),
- h) az anyag környezetre való ártalmassága szerint (pl. tűzveszélyes, robbanásveszélyes, fertőző, sugárzó stb.).

Darabáruknak anyagmozgatási szempontból azok az áruk minősülnek, amelyekre a darabonként megvalósuló, egyedi mozgatás jellemző. Különböző méretűek, alakúak lehetnek. Az anyagmozgatás során a különböző ömlesztett anyagokat magukban foglaló edényzetek is „darabárunak” minősülnek.

Ömlesztett anyagoknak azokat a rendszerint különböző szemnagyságú elemi részeket tartalmazó, de általában egynemű anyagokat nevezik, amelyek nagyobb tömegekben, rendezetlenül és csomagolatlanul kerülnek mozgatásra, tárolásra, szállításra. Az e gyűjtőnév alá sorolható különféle anyagok a sokrétűségük és az anyagok mozgását, ömlékenységét stb. befolyásoló számos tényező hatása miatt sokszor jelentenek nehézségeket az anyagmozgatásban. A tapasztalat szerint az anyagi jellemzők kismérvű változtatásai is már meglepetést okozhatnak. A gyakorlatban megkülönböztetik az önthető anyagokat az ömleszthetőktől.

Anyagmozgatási szempontból ide sorolják azokat az száraz por alakú és finomszemcsés, gördülékeny szilárd halmazállapotú anyagokat (pl. porszén cement, liszt, gabona stb.) is, amelyek csővezetékben mozgathatók, akár a nehézségi erő, akár valamilyen egyéb hatóerő, igénybevételével. Tehát nincs határozott határvonal a folyadék és a szilárd halmazállapotú anyag között, bár az egyes „önthető” szilárd halmazállapotú anyagok a mozgásukkor különböző jellegzetességeket mutathatnak fel.

Az osztályozási szempontok közül azért emeltük ki fentieket, mert ezek alapvetően befolyásolják az anyagmozgatási rendszert.

1.2. Az ömlesztett anyagok jellemzése

Az ömlesztett áruk csoportjába soroljuk mindazokat az általában egynemű és többé-kevésbé hasonló alakú árukat, amelyeknek szállítását, rakodását és tárolását nagy tömegben, rendezetlenül és csomagolatlanul végzik. Ilyen módon kerülnek szállításra az ásványi anyagok, bányatermékek (érc, szén, homok stb.), egyes ipari termékek (műtrágya, burgonya, kukorica,

cukorrépa stb.), valamint egyes élelmiszeripari cikkek (liszt, cukor), persze ezek mindegyike az igényektől és körülményektől függően zsákolva vagy egyéb módon csomagolva, darabárúként is továbbítható. Az ezen csoportba sorolt áruféleségek eltérő tulajdonságúak és darabnagyságúak lehetnek, porszerű anyagtól a nagydarabos bányatermékekig és az ömlesztve szállításra és tárolásra kerülő papírfarönkig. Közös jellemzőjük azonban az, hogy az anyagmozgatási folyamaton az egyedi darabok sokasága, tömege vonul végig, ezért az ömlesztett áruk csoportjába tartozó termékeket gyakran tömegárúknak is nevezik.

A különböző fajtájú anyagmozgató gépekkel továbbításra kerülő ömlesztett anyagokat sűrűségük, belső sűrűlódásuk és kohéziójuk, valamint számos más egyébtulajdonságuk jellemzi és ezek meghatározzák mind a mozgatás közbeni, mind a tárolási alatti sajátos viselkedésüket.

A jelenségeket vizsgáló „ömlesztett anyagok mechanikája” törvényeinek meghatározását igen bonyolulttá tenné az összes előbb említett jellemzők, így például az anyag eltérő szemnagyság és a szemcsék között ébredő kohéziós erők egyidejű hatásának figyelembevétele, ezért a vizsgálatok áttekinthetőbbé tétele érdekében az anyagot idealizáljuk. A vizsgálatokban részt vevő ideális ömlesztett anyag azonos méretű és szabályos alakú szemcsékből áll, amelyek között csak belső sűrűlódás ébred, azaz kohézió nem áll fenn.

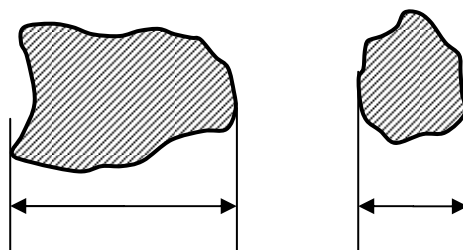
Az ideális anyagra megállapított törvényszerűségeket vonatkoztatjuk aztán az egyes, sajátos tulajdonságokkal bíró ömlesztett anyagokra és annak alapján határozhatjuk meg várható viselkedésüket.

1.3. Az ömlesztett anyagok jellemzői és vizsgálatuk

1.3.1 Szemnagyság, szemcseösszetétel

Az ömlesztett anyag hézagokkal körülvett változó méretű és alakú szemcsékből áll. A szemcsék közötti hézagokat általában levegő, egyes esetekben pedig víz tölti ki. Az ömlesztett anyag külső behatásokkal szemben való viselkedését az alkotó szemcsék nagysága és alakja, valamint szemcseösszetétele nagymértékben befolyásolja.

A szemcsék alakja lehet gömbölyű, gömbölyded, lemezes, lapos szögletes, koptatott, tojás-, répa- és korong alakú stb. Ha a szemcsét gömb alakúnak képzeljük, akkor mérete egyetlen adattal, az átmérővel megadható. Gyakorlatban azonban a szemcse mindig szabálytalan alakú, ezért a szemcseátmérő fogalmát csak mint a szemcsenagyság névleges méretére jellemző adatot használjuk, és alatta annak a legkisebb négyzet vagy kör alakú nyílásnak a méretét – oldalhosszát vagy átmérőjét – értjük, amelyen a szemcse még átesik. A meghatározás módszeréből következik, hogy hosszúkás alakú szemcsék (pl. búza, árpa, aprított kőzetek) egyik mérete, azaz a hossza nagyobb lehet, mint a szemnagyság meghatározására szolgáló szita vagy rosta nyílásának névleges mérete.



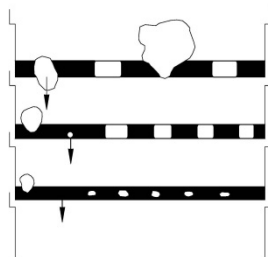
1. ábra: A szemcse jellemző méretei

Ezért az ilyen hosszúkás szemcsék nagyságát három egymásra merőleges síkban mért méretükkel kell pontosan meghatározni (1. ábra). Ezek közül a legnagyobb méret a hossz, a szemcsenagyság (w), amely – különösen nagyobb darabok esetén – jelentős befolyással van az alkalmazandó anyagmozgató gépek és berendezések egyes főméreteinek (pl. szállítószalagok

hevederszélessége, elevátorok serlegének szájnnyílásmérete, bunkerek kiömlőnyílásának átmérője stb.) meghatározására.

Finomabb, szabad szemmel nem látható szemcsék átmérőjén annak az azonos anyagból levő gömbnek az átmérője értendő, amely adott folyadékban a szemcsével azonos sebességgel süllyed.

Az ömlesztett anyag szemcseösszetételén az anyagot alkotó szemcsék szemnagyság szerinti eloszlását értjük és tömegszázalékban adjuk meg. A szemcseösszetételt szitálással vagy rostálással határozzuk meg, úgy, hogy az ömlesztett, vegyes szemcsenagyságú anyagot különböző nyílású sziták segítségével frakciókra bontjuk szét (2. ábra).

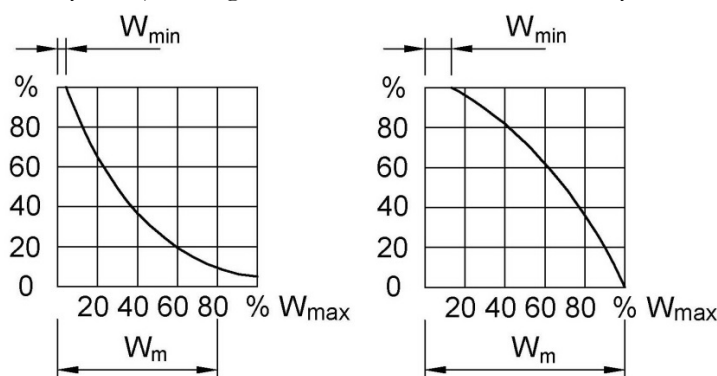


2. ábra: Vázlat a szitaanalízis értelmezésére

A szitálás eredményét szemeloszlási görbe ábrázolja. A görbe egy-egy pontja megadja, hogy egy bizonyos méretnél nagyobb szemcsék összesen hány tömegszázalékban vannak jelen az anyaghalmozban. A görbe tehát összegező, integráló görbe (3. ábra).

A szemeloszlási görbe abszcisszájára az szitanyílást, illetve az ezzel meghatározott szemnagyságot számszerűen vagy a legnagyobb szemcseméret (w_{\max}) százalékában – a jobb áttekinthetőség érdekében gyakran logaritmikus léptékben – és az ordinátára pedig az át nem esett szemcsék, azaz az ún. szitamaradék százalékos tömegarányát mérjük fel.

A z ömlesztett anyagra a benne előforduló legkisebb és legnagyobb szemcsék méreteinek aránya jellemző. Egyes anyagfélések, mint pl. a burgonya, gabona vagy brikett szemnagysága általában hasonló, míg az ércek, szén és ásványfélések összetétele a porostól a nagydarabosig változhat az egyes lelőhelyek sajátosságaitól, valamint a későbbi osztályozás mértékétől függően.



3. ábra a/b: A szemeloszlási görbe és jellemző alakulásai

Ha az előforduló legnagyobb és legkisebb szemcsék mérete közti arány 2,5 vagy annál kisebb, azaz

$$\frac{w_{\max}}{w_{\min}} \leq 2,5$$

az anyag osztályozottnak minősül.

Ha a fenti arány nagyobb, mint 2,5 az anyag osztályozatlan.

A szitaanalízis során az ömlesztett anyag szemnagyság szerint az alábbi frakciókra bontható:

nagydarabos			> 160 mm,
darabos	60	-	160 mm,
apródarabos	10	-	60 mm,
durvaszemcsés	2	-	10 mm,
finomszemcsés	0,5	-	2 mm,
porszemű	0,05	-	0,5 mm, és
por, liszt			< 0,05 mm.

Az anyagmozgató gépek megválasztása szempontjából az ömlesztett anyagot a mértékadó szemcse nagysága jellemzi, ezt szitaanalízise alapján határozhatjuk meg.

Ha a nem osztályozott (osztályozatlan) ömlesztett anyag w_{\max} és $0,9 w_{\max}$ szemnagyság közé eső frakciójában az anyag mennyiségének 10 %-ánál kevesebb jut, az anyag mértékadó szemnagysága (3/a ábra):

$$w_m = 0,8 w_{\max},$$

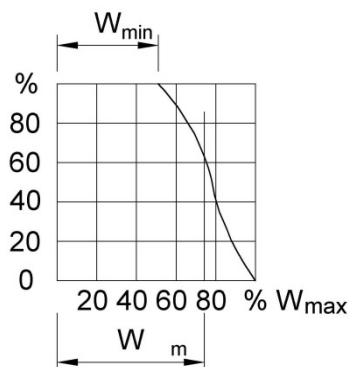
Ha pedig a $0,8 w_{\max}$ méretűnél nagyobb szemcsék frakcióinak aránya nagyobb, mint 10%, a mértékadó szemnagyság (3/b ábra):

$$w_m = w_{\max},$$

Azaz az osztályozatlan anyagot ez esetben a legnagyobb méretű szemcse mérete jellemzi.

Osztályozott anyag esetében a mértékadó szemnagyság a közepes szemcseméretnek felel meg (3/c ábra), azaz:

$$w_m = \frac{w_{\max} + w_{\min}}{2}$$



3. ábra c: A szemeloszlási görbe és jellemző alakulásai

a) Nedvességtartalom

Általában minden ömlesztett anyag bizonyos nedvességet tartalmaz, amely lehet:

Belső nedvesség, mégpedig

- vegyileg az anyaghoz kötött ún. kristályvíz, vagy
- a környező levegőből az anyagszemcsékbe beszivárgó higroszkopikus nedvesség, és

Külső nedvesség

- az anyagrészecskék felületén filmréteget képező molekuláris nedvesség, vagy
- az egyes anyagszemcsék közötti hézagokat kitöltő víz (gravitációs víz).

A külső nedvességet tartalmazó ömlesztett anyagokat nedves anyagoknak nevezzük. Ha ezeket hosszabb ideig szabad levegőn tartjuk a külső nedvesség elpárolog és az anyagban visszamarad a belső nedvesség az ilyen anyagokat légszáraz állapotúnak nevezzük. A csak kristályvizet tartalmazó ömlesztett anyag a száraz anyag.

A nedvességtartalmat az anyagnak 105 °C hőmérsékleten 2-4 óra hosszat tartó szárítása előtt és után lemerített tömege összehasonlításával, a száraz anyag tömegszázalékában adjuk meg:

$$N = \frac{G_1 - G_2}{G_2} 100 (\%),$$

ahol G_1 az anyag tömege szárítás előtt és G_2 szárítás után.

b) Térfogattömeg és sűrűség (Térfogatsúly és fajsúly)

Az ömlesztett anyag térfogattömegén a térfogategységben elhelyezhető anyagmennyiség tömegét értjük és kg/m^3 vagy t/m^3 értékben adjuk meg. Ennél mindig nagyobb az anyagnak a sűrűsége, amely alatt a térfogategységnyi tömör – tehát az anyag – szemcsék közötti hézagokban levő levegő – és vízzárványoktól mentes – anyag tömege értendő. Ennek dimenziója is kg/m^3 vagy t/m^3 .

Az előbbiekből következik, hogy az ömlesztett anyag térfogattömege annál kisebb, minél nagyobbak a szemcsék közötti levegővel kitöltött hézagok. Amennyiben a hézagok vízzel vagy apróbb szemcsékkel, illetve porral töltődnek fel a térfogattömeg arányosan növekszik. Levegővel keveredett, laza állapotú lisztszerű és poros anyagok térfogattömege lényegesen kisebb az ugyanazon fajtájú vagy minőségű darabos anyag térfogattömegénél. Azonban hosszabb állás, illetve ütogetés vagy vibrálás hatására a légbuborékok eltávoznak és az anyag jelentékeny mértékben, esetleg eredeti térfogatának felére is összetömörödik, és így térfogattömege jelentősen megnövekedik, majdhogy a sűrűség értékét is eléri.

Miután a nedvességtartalom, szemnagyság és szemcseeloszlás, valamint a tömörödési jelenségek ugyanazon fajtájú ömlesztett anyag térfogattömegét is jelentősen befolyásolják, a tervezés megkezdése előtt a kezelendő anyag összetartozó jellemzőit gondosan meg kell határozni, illetve mérési lehetőség hiányában a táblázatokból kivett adatokat csak, mint két – tág határok között változó – szélső érték átlagát szabad alapul venni (1. táblázat).

1. táblázat

Ömlesztett anyagok térfogattömege

Anyag	t/m^3	Anyag	t/m^3
Antracit, darabos és légszáraz	0,82-0,90	Homok, finom és nedves	1,65-2,10
Aprószen, W20mm	0,80-0,85	Homok, durva	1,40-1,60
Szén darabos és légszáraz	0,72-0,86	Formázóhomok	1,15-1,60
Barnaszén, darabos és légszáraz	0,65-0,78	Kavics, száraz	1,70-1,90
Lignit	0,65-0,85	Kavics, nedves	1,90-2,10
Tőzeg, száraz	0,32-0,41	Kavicsos homok száraz	1,50-1,65
Tőzeg, nedves	0,41-0,65	Kavicsos homok, nedves	1,60-1,80
Koksz, darabos és légszáraz	0,40-0,55	Dolomit	1,20-1,50
Fejlett szén (aknaszen)	0,70-0,95	Gránit, zúzott	1,80-2,50
Széntüzelés salakja	0,65-0,85	Mészkeő, zúzott	1,50-1,80
Granulált kohósalak	0,60-1,00	Homokkeő	1,30-1,50
Széntüzelés hamuja, száraz	0,55-0,90	Pala	1,80-2,80

Falazótégla	1,40-1,55	Vasérc	1,75-3,00
Kliner-tégla	1,60-2,00	Kvarc	2,30-2,80
Mész, égetett, darabos	1,00-1,40	Búza	0,70-0,80
Portlandcement lazán öntve	1,10-1,45	Rozs	0,68-0,80
Salakcement, lazán öntve	0,90-1,10	Árpa	0,65-0,72
Beton, plasztikus vagy földnedves	1,80-2,45	Zab	0,40-0,55
Föld, száraz	1,10-1,60	Kukorica morzsolt	0,70-8,80
Föld, nedves	1,60-1,80	Liszt	0,65-0,72
Agyag, száraz	1,20-1,60	Cukorrépa	0,47-0,65
Agyag, nedves	1,60-2,10	Cukor, darabos	0,75-1,00
Homok, finom és száraz	1,10-1,65	Kőso	1,50-2,20
Finom só	0,65-1,50	Mútrágya	0,85-1,00
Csont	0,80-1,15	Fűrészpor	0,30-0,35

Az ömlesztett anyagok térfogattömegének meghatározási módját az MSZ 8640-54 országos szabvány részletesen tárgyalja és megadja, mint leglényegesebb feltételt, a szemcsenagyság és mérőedény mérete közötti összefüggést is.

A méretezés biztonsága érdekében az ömlesztett anyag tömegéből adódó terheléseknél valamint az anyagmozgató gép működtetéséhez szükséges munkateljesítmény számításánál mindig a térfogattömeg óvatosan becsült felső határértékével célszerű számolnunk. Hasonló okból a meghatározott tömegű ömlesztett anyagot befogadó tárolók befogadóképessége vagy továbbító anyagmozgató gépek szállítóképessége számításánál a száraz, laza anyagokra jellemző alsó határértéket kell alapul venni.

A különböző ömlesztett anyagok térfogattömegük szerint az alábbi csoportokba sorolhatók:

igen könnyű anyagok (pl. faforgács)	$< 0,3 \text{ t/m}^3$
könnyű anyagok (koks)	$0,3 - 0,6 \text{ t/m}^3$
középnhez anyagok (szén)	$0,6 - 1,2 \text{ t/m}^3$
igen nehéz anyagok (ércek)	$> 2,0 \text{ t/m}^3$

c) Koptató hatás (abrazivitás)

Egyes ömlesztett anyagoknak a velük érintkező felületeket rongáló, koptató hatása elsősorban az anyag szemcséinek keménységétől függ, de ezen túlmenően a felületek érdessége is figyelembe veendő. A gyakorlatban előforduló ömlesztett anyagok közül leginkább koptató a koks, de jelentős kopást okoz a kvarchomok, a bauxit, a cement, a különböző ércek, az égetett építőipari termékek, sőt még a gabona is.

Az egyes ömlesztett anyagok keménységét az alábbi Moos-féle összehasonlító keménységi skála értékeivel adjuk meg a legpuhább talkumtól a legkeményebb gyémántig.

talkum	1	földpát, molibdén	6
gipsz, kőso	2	kvarc	7
mészpát, réz	3	topáz	8
folypát, vas	4	zafir, korund, timföld	9
gyémánt	10		

Megjegyzendő, hogy egyes viszonylag puhább anyagok szemcséinek érdes felületei, éles sarkai is jelentős károsodást okozhatnak a velük érintkező gépelemekkel és felületekkel, így pl. az

éles sarkú, de nem abrazív kőszén nagyobb magasságból lehullva a szállítószalag gumihevederét erősen rongálja.

d) Összefagyási hajlam

Külső nedvességtartalommal bíró ömlesztett anyagok hosszabb időtartamú fagyponthoz alatti hőmérsékleten tartás során egyetlen, nehezen szétbontható tömeggé fagynak össze. Erre leginkább hajlamosak az apró szemű mosott szén, a flotált ércek, a szállítás közben megázott anyag és bauxit.

e) Ragadási és összetapadási hajlam

Ragadásnak nevezzük az ömlesztett anyagok azon tulajdonságát, hogy ráragadnak vagy tapadnak másfajta anyagból kiképzett felületekre. Általában a nedves anyagok ragadnak, de egyes száraz anyagoknak is megvan az a tulajdonságuk, hogy fára vagy nyirkos anyagra feltapadnak. Ez utóbbi jelenség az anyagrészek között fennálló molekuláris vonzerővel magyarázható.

Összetapadásnak azt a jelenséget nevezzük, amikor huzamosabb idejű tárolás után egyes ömlesztett anyagok szemcséi összetapadnak, ez leginkább a levegőből felszívott higroszkopikus nedvesség hatására következik be. Az összetapadási hajlam az anyagban létrejövő nyomással növekszik, ezért különösen tárolóbunkerek alsó részében áll elő az összetapadás.

f) Belső súrlódás és kohézió

Súrlódásnak nevezzük azt az ellenállást, amelyet a két egymáson nyugvó, de különálló test elmozdításához a mozgás irányában ható erőnek le kell győznie. A súrlódás passzív erő, amely csak aktív erő működése esetén és azzal azonos mértékben ébred. A súrlódási törvény igen bonyolult természeti törvény, amely több tényező hatására jön létre, és a fizikai lényegére vonatkozó nézetek sem egységesek. Számos kísérlet rámutatott azonban arra, hogy a súrlódást jellemző ellenállási tényező az ún. súrlódási tényező értéke nagymértékben függ az érintkező felületek közti folyadék „film” tulajdonságaitól. Ez a film idézi elő az adhézió, illetve a kohézió jelenségét is.

Ömlesztett anyagok esetében súrlódás az egyes szemcsék között lép fel. Ha a szemcsék mérete a rájuk tapadt filmburok vastagságához képest nagy, akkor az adhézió alárendelt szerepet játszik, mert a terhelés következtében az egyes szemcsék érintkezési pontjain fellépő nyomás az érintkezési pontok viszonylag kis száma miatt nagy, a film emiatt erősen összenyomódik, és a nyomás gyakorlatilag szemcséről szemcsére adódik át. Az ilyen ömlesztett anyagban nagy lesz a belső súrlódás, és nem jelentkezik adhézió. A viszonylag kis szemcséjű anyagoknál a felületegységre jutó érintkezési pontok száma megnövekszik, emiatt a szemcsék között ébredő fajlagos nyomás csökken, és ez az abszorpció és film viszonylagos vastagságnövekedését eredményezi. A nyírási ellenállás csökken, azonban jobban érvényre jut a film adhéziója, ezért van az, hogy egyes finomszemcséjű anyagok (pl. agyag, nedves homok) kicsiny belső súrlódással, de jelentős kohézióval rendelkeznek.

Bár a vizsgálatok azt mutatják, hogy a víznek fontos szerepe van az ömlesztett anyagok nyírószilárdságának nagyságában és annak változásában, mégis azt kell megállapítani, hogy a víznek kenőhatása nincsen sőt bizonyos – vizet felszívó – anyagoknál a súrlódási tényezőt növeli.

Az ömlesztett anyagok belső súrlódásának vizsgálata során mindig szemcschalmazokkal van dolgunk, és az ezeknél előálló jelenségek sokkal bonyolultabbak, mint a felületek menti súrlódás esetében. A szemcsék érdes felületeikkel egymásba kapaszkodnak, vagy egymáson néha a csúszás irányára merőlegesen is elgördülnek stb. Így megállapítható, hogy az ömlesztett anyagnak a csúszólap és gördülő ellenállásból, részben pedig a szemcsék egymásba kapcsolódásából tevődik össze.

A belső súrlódás az egymással érintkező szemcsék között a mozgással szemben fellépő ellenállás részben csúszó és gördülő ellenállásból, részben pedig a szemcsék egymásba kapcsolódásából tevődik össze.

A belső súrlódás az egymással érintkező szemcsék között a mozgással szemben fellépő erő, amely a nyomás növekedésével lineárisan változik. A kohézió pedig egy, az ömlesztett anyag fajtájára jellemző állandó, a normális feszültségtől független és hatása abban jelentkezik, hogy az anyagszemcsét tömör közegként összetartja.

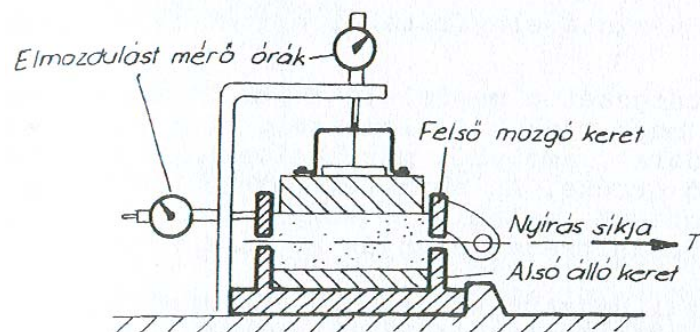
Egyes anyagok (pl. nedves vagy agyagos homok, őrlött salak, bauxit stb.) nehezen ömleszthetők és összeálló, tapadó tulajdonságúak. Huzamos állás után annyira összetapadnak, hogy halomba rakott anyag elszállításakor a visszamaradó rész függőleges falat vagy visszahajló boltozatot is képes alkotni. Balesetveszélyessége miatt az ilyen anyagok szállítása nagy elővigyázatosságot igényel.

Ha a kohézió zérus a nyírószilárdság csak a belső súrlódásból származik. Az ilyen anyagok (pl. száraz homok, kavics, osztályozott szén) jól ömleszthetők, nem tapadnak össze, halomba rakva a belső súrlódásra jellemző szöggel rézsűt alkotnak.

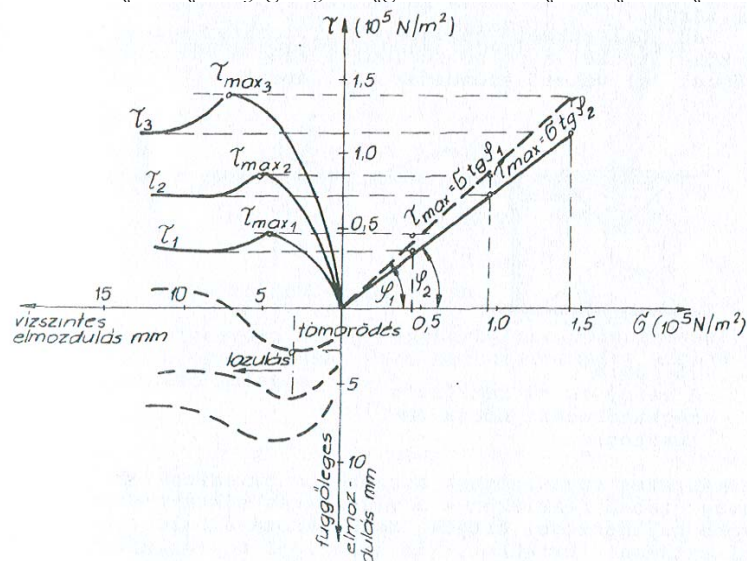
Egyes különleges anyagoknál (pl. nedves anyag és bentonit stb.) elhanyagolható belső súrlódás mellett igen nagy a kohézió.

Az ilyen anyagok szállítás és rakodás szempontjából nagyon kellemetlenek, mert az anyagmozgató gépekre és a tároló tartályok falaira feltapadnak és így az anyagmozgató létesítmények csak állandó ellenőrzés és tisztogatás mellett üzemeltethetők.

Az ömlesztett anyag nyírószilárdságát legegyszerűbben nyírókísérlettel lehet meghatározni. A kísérleti nyíródoboz (4. ábra) egy alsó állókeretből és az azon vízszintes irányban elmozdítható felső keretből áll.



4. ábra: Az ömlesztett anyagok nyíróvizsgálatára alkalmazott készülék vázlatja



5. ábra: A nyírókísérlet eredményei

Az anyagminta két fésűs fémbetét vagy fogazott szűrőkő közé kerül és felülről N értékű normális nyomóerőt fejtünk ki rá, majd a felső keretre kifejtett vízszintes T erőt mindaddig növeljük, amíg az anyagban csúszólap alakul ki és a két keret egymáshoz képest el nem mozdul. Egyidejűleg a mérőórákkal a vízszintes és függőleges terhelésre elvégzett kísérlet alakváltozási görbéit a 14. ábra bal oldalán tüntettük fel.

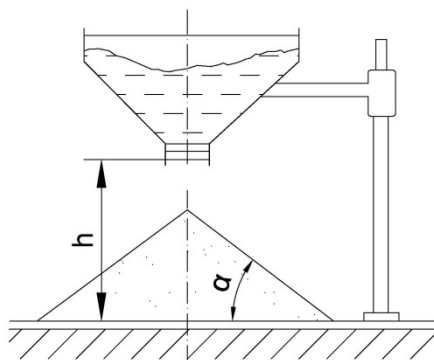
A görbék megadják a minta elnyírásakor ébredő nyírófeszültségeket (τ_{\max}).

Ha pedig a feszültségeket a megfelelő σ feszültségek függvényében felrakjuk, megkapjuk a Coulomb-féle nyírási egyenest (5. ábra jobb oldala), amelyből már leolvasható a súrlódási szög és kohézió értéke. Az ábra feltünteti a függőleges elmozdulások változását, valamint a folyamatos alakváltozáshoz tartozó nyírófeszültségek alapján meghatározható Coulomb-féle egyenest is.

A nyíródobozzal végzett kísérletek – a mintában végbemenő bonyolult feszültség-eloszlási folyamatok, torzulások és a mérési felület változása miatt – csak közelítő értéket adnak.

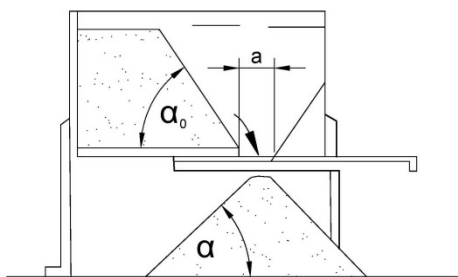
Az ömlesztett anyag belső súrlódási szöge (φ) és belső súrlódási tényezője ($\mu = \operatorname{tg} \alpha$) közvetlenül nem érzékelhető, ill. mérhető, mivel gyakorlatilag az anyag kohéziója sohasem zérus.

Jól ömleszthető anyagokra (pl. száraz homok) azonban jó közelítéssel a belső súrlódási szög a természetes rézsűszöggel (α) vehető azonosnak (6. ábra).



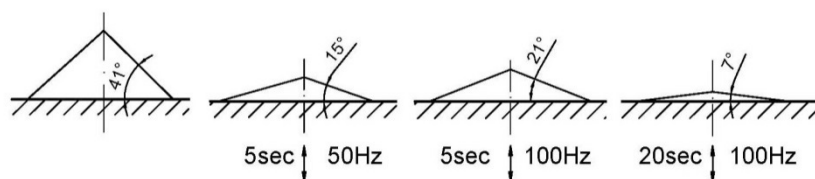
6. ábra: A természetes rézsűszög meghatározási módja ömlesztéssel

Természetes rézsűszögnek a szabadon ömlesztett szemcsés anyag szabad felületének a vízszintes síkkal bezárt legnagyobb hajlásszögét értjük. Meghatározása ömlesztéssel vagy omlasztással történhet, kis kohéziójú anyagoknál a két érték közel azonos, nagyobb kohéziójú anyagféleségeknél azonban az omlasztással meghatározott rézsűszög (α) mindig nagyobb (7. ábra).



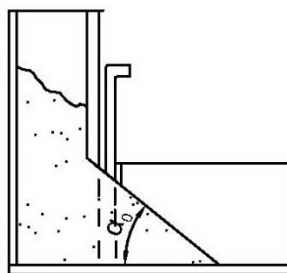
7. ábra: A rézsűszög ömlesztet és omlasztott értéke

Az ömlesztett anyag természetes rézsűjének kialakulásánál nagyjából ugyanazon jelenségek (a szemcsék egymásba kapaszkodása, nedvesség hatása, film kialakulása stb.) játszanak közre, mint a belső súrlódás esetén. Az ömlesztett anyagokat továbbító gépek így pl. a hevederes szállítószalagok szállítóképességének meghatározásánál fontos az anyag természetes rézsűszögének, valamint annak a rázás, vibrálás mellett való megváltozásának pontos ismerete, mert a szállítás közbeni rézsűszög-csökkenés az anyag leszóródását eredményezheti. A 8. ábrán különböző frekvenciájú és időtartamú rázás utáni rézsűszög-csökkenések vannak feltüntetve.



8. ábra: A rézsűszög változása rázás során

A 6. ábra az ömlesztett anyag rézsűszögének ömlesztéssel, a 9. ábra pedig omlasztással való meghatározására szolgáló eszköz vázlatát mutatja.



9. ábra: Az ömlesztett rézsűszög értékének meghatározása

A korábbi 16. sz. ábrán pedig a mindkét jellemző egyidejű meghatározására alkalmas szerkezet látható.

A különböző anyagokra nyert értékek a szemcsenagyság, nedvességtartalom és egyéb jellemzők miatt bizonyos határok között változnak, jelentős kihatással van a nyert értékre az ejtési magasság, illetve a leomlasztott fal magassága is. Ezért ügyelni kell a méréseknél az azonos feltételek szigorú biztosítására.

1.4. A darabárúk általános jellemzése

A darabárúk csoportjába tartoznak mindazon áruféleségek, amelyek a szállítás, rakodás és tárolás folyamata során egyidejűleg, darabonként kerülnek kezelésre és továbbításra. Ezen közös ismérvükön túlmenően a darabárúk jellemző tulajdonságai – tömegük, kiterjedésük stb. – között jelentős eltérés lehet, mivel ide tartoznak az egyenként szállított kis gépalkatrészeketől kezdve a több köbméter befogadóképességű szállítótartályokig, vagy több méter hosszú fűrészelt áruig a legkülönbözőbb áru fajták. Megjegyzendő, hogy anyagmozgatási szempontból darabárúnak minősülnek az ömlesztett anyagokat, folyadékot vagy apróbb darabárúkat tartalmazó zsákok, -gyűjtőedények és szállítótartályok is, mivel továbbításuk során a darabárúknak megfelelő egyedi kezelést igényelnek. Ezzel szemben az is lehetséges, hogy egyes áru fajták, mint pl. a sajtolóban egyszer darabárúként, máskor pedig egyedi kezelés nélkül, ömlesztve, tömegárúként vegyenek részt.

A darabárúk jellemzői:

- alakja, amely az áru fajtájától függően lehet szabályos és alaktartó (pl. láda, kanna, tartály, ballon, doboz, rekesz), vagy szabálytalan, ill. nem alaktartó (pl. zsák, köteg, gépalkatrész, bútor, nyersbortábla stb.),
- kiterjedése (mérete): szabályos alakú árut három dimenzióban mért méreteivel, szabálytalan alakú árut pedig legnagyobb és legkisebb méretével kell meghatározni,
- tömege az áru méreteitől és sűrűségétől függően tág határok között változhat (t-ban vagy kg-ban van megadva),
- felülete; a szállítandó áru felületének minőségét a külső felület vagy a burkolat anyaga, kialakítása, egyenletessége, merevsége és szilárdsága együttesen határozzák meg. Anyaga szerint lehet a felület fém, fa, textil, műanyag, papír- vagy kartonlemez, gumi

stb. Az áru kezelése miatt lényeges annak ismerete, hogy az esetleges felfekvő felületek simák és teherbíróak-e, vonalmenti felfekvés esetén (pl. görgősoron való szállításnál) nem roppannak-e meg, vagy nincsenek-e rajtuk olyan merevítések és bordák elhelyezve, amelyek akár az egyik irányú csúszást vagy gördülést is megakadályozzák.

Egyéb tulajdonságuk: magas hőfok, robbanásvesélyesség, gyúlékonyság, törékenységi rázásérzékenység stb. Itt kell megemlíteni azt is, hogy egyes áruféleségek (pl. kanna, ballon, italos ládák) csak bizonyos meghatározott helyzetben szállíthatók.

1.5. Az mozgatandó anyagok jelölési rendszere

Vannak olyan törekvések, amelyek azt célozzák, hogy a mozgatásra kerülő anyagok főbb tulajdonságait egységes jelölési rendszer alkalmazásával félreérthetetlenül ki lehessen fejezni.

Anyagmozgatási szempontból vizsgálva azt anyagoknak elsősorban a következő hét jellemzőjét szükséges meghatározni:

1. a fizikai állapot, 2. a szemcse, ill. a darab jellemző mérete(i), 3. a szemcse, ill. a darab alakja, 4. az ömlékenység, 5. az anyagmozgatási szempontból jellemző egyéb tulajdonságok, 6. a térfogattömeg, ill. az egység tömege és 7. a hőmérséklet.

A fizikai állapot 5 jellemző kategóriája és azok jelölése az alábbi:

- α) szilárd – ömleszthető,
- β) szilárd – önthető,
- γ) szilárd – darabáru,
- δ) cseppfolyós anyag,
- e) légnemű anyag.

A jellemző szemcse, ill. darabméret 15 jellemző kategóriája és jelölésük a következő:

A)	< 0,4 mm,
B)	0,4 ... 1 mm,
C)	1 3 mm,
D)	3 10 mm,
E)	10 25 mm,
F)	25 50 mm,
G)	50 75 mm,
H)	75 150 mm,
K)	150 300 mm,
L)	300 > 500 mm,
M)	500 800 mm,
N)	800 1200 mm,
O)	1200 2500 mm,
P)	2500 5000 mm,
R)	5000 mm.

Ha egyetlen méretadattal nem jellemezhető egyértelműen a mozgatandó anyag (pl. lemezek esetében), a megfelelő két betűvel jellemezendő. Az ömlesztett és önthető anyagok esetében a mértékadó szemcsenagyságnak az összes anyagmennyiség legalább 60%-át kell kitennie.

A szemcse, ill. a darab alakja szerinti 6 csoport (a folyadékokat és gázokat nem számítva) és annak jelölése a következő:

- I. mindhárom dimenzióban kb. egyforma élhosszak, az élek élesek,
- II. az egyik dimenzióban mért élhossz lényegesen hosszabb, mint a többi, az élek élesek,
- III. az egyik dimenzióban mért élhossz lényegesen rövidebb, mint a többi, az élek élesek,
- IV. mindhárom dimenzióban kb. egyforma élhosszak, az élek nem élesek,

- V. az egyik dimenzióban mért élhossz lényegesen rövidebb, mint a többi, az élek nem élesek, és
- VI. rostos, szálás, bolyhos, összekuszálódott, ill. szabálytalan alakú anyagok.

Az anyagok ömlékenysége szerinti 7 csoport és azok jelölése:

1. levegőben, lebegő folyadékként önthető, ill. folyadékként önthető, ill. folyadék vagy gáz,
2. könnyen ömleszthető, $\alpha < 30^\circ$,
3. ömleszthető; $\alpha = 30 \dots 45^\circ$,
4. nehezen önthető, $\alpha = 45 \dots 60^\circ$,
5. összetapadó $\alpha > 60^\circ$,
6. nem csúszó, boltozatot képező, nem ömleszthető, nehezen szétváló,
7. darabáru.

Az anyagmozgatási szempontból jellemző 15 egyéb tulajdonság, és azok jelölése:

- h) mechanikai hatásokra érzékeny,
- k) hőmérsékletre érzékeny,
- i) vegyszerekre érzékeny,
- m) fényérzékeny,
- n) összeálló,
- o) abrazív (csiszoló) hatású,
- p) korrozív,
- q) törékeny,
- r) robbanékony
- s) gyúlékony,
- t) porképző,
- u) nedves,
- v) ragadós,
- w) higroszkopikus,
- x) bűzös.

A térfogattömeg (ömlesztett anyag esetében) (t/m^3), ill. a sűrűség (folyadékok és gázok esetében) tényleges számértékekkel tüntetendő fel. Az egységtömeg (darabáru esetében) 9 kategóriája és annak jelölése:

- | | |
|----|----------------------|
| 1. | $< 20 \text{ kg,}$ |
| 2. | 20..... 100 kg, |
| 3. | 200..... 600 kg, |
| 4. | 600..... 1000 kg, |
| 5. | 1000..... 1500 kg, |
| 6. | 1500..... 2000 kg, |
| 7. | 2000..... 3000 kg, |
| 8. | 3000..... 5000 kg, |
| 9. | $> 5000 \text{ kg.}$ |

Az anyag hőmérséklete – pozitív, ill. negatív előjele – ugyancsak a tényleges számértékkel tüntetendő fel.

A fentiek a következő példákkal szemléltethetők:

- betonkavics: $\alpha \text{ D IV } 3 \text{ 0 } 1,5 + 2,93$,
- konzerves üvegeket tartalmazó oldalas rakodólap: $\gamma \text{ N I } 7q4 + 293$
- folyadékként szállított nyersolaj: $\delta \text{ A } 1 \text{ s } 0,9 + 288$.

Az anyagmozgatási rendszerek számítógépes tervezéséhez a fenti betű-szám jeles információ nem alkalmazható, célszerű ezt kódszámjeles formára átalakítani.

A kódszám első helyi értékét az öt fizikai állapotnak megfelelő 1...5 számérték foglalja el. A következő négy helyi érték a jellemző szemcse-, ill. darabméretek kifejezésére tartandó fenn,

10...25 kódszámokkal (ha az anyag egyetlen méretadattal jellemezhető, a többi helyi értéken 0 szerepel). Az alak, ill. az ömlékenység a 6. és 7. helyértéken szereplő 1...6, ill. 1...7 egyjegyű számokkal fejezhető ki. A 8. és 9. helyi értéken az anyagmozgatási szempontból jellemző egyéb tulajdonságok tüntethetők fel, 10...24 kódszámokkal (ha az adott anyag szempontjából ilyen megkülönböztetés nem szükséges, e helyekre is 0 kerül.) A 10. helyi értékre, a darabáruk tömegkategóriáinak megfelelően az 1...9 kódszámok kerülnek. Ömlesztett anyagok esetében itt lehet feltüntetni a térfogattömeg adatok egészszám-értékeit, a 11. helyi értéken darabáruk esetében 0, ömlesztett anyagok esetében a térfogattömeg tizedes értékei szerepelnek. A 12. helyi értékre a +, ill. – előjelet helyettesítő 1, ill. 2, és a 13...15. helyi értékre pedig a hőmérséklet tényleges értéke kerül.

Az anyagra jellemző kódszámok helyi értéki beosztását összefoglalóan a 2. táblázat tünteti fel.

2. táblázat

Az anyagok egységes kódrendszere

Jellemző	Fizikai állapot	Szemcse, ill. darab méret (mm)	Szemcse, ill. darab alak	Öml- ékenység	Egyéb jell.	Fajl. tömeg, illetve tömeg (t/m ³ , ill. kg)	Hőmérséklet
Kódszám	1...3	10...25	1...6	1...7	10...24	0,1.....9,9 1.....9	+ (1) – 50 °C - (2) + 999 °C
Helyiérték	1	2 3 4 5	6	7	8 9	10 11	12 13 14 15