

Hulladék biomassza aprítása

Nagy Sándor
tanszéki mérnök

ME Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

1. BEVEZETÉS

A biomassza a fosszilis energiahordozók után a legjelentősebb erőforrás jelenleg a világon. Energiaforrásként számításba vehető hulladék (másodnyersanyag) biomassza-féleségek alapvetően három csoportba sorolhatók:

- hagyományos mezőgazdasági termények melléktermékei és hulladéka (szalma, kukoricacsutka, kukoricaszár stb.),
- erdőgazdasági és fafeldolgozási hulladék (faapríték, fanyesedék, fűrészpor, háncs stb.),
- másodlagos (állati) biomassza (trágya, stb.) [3].

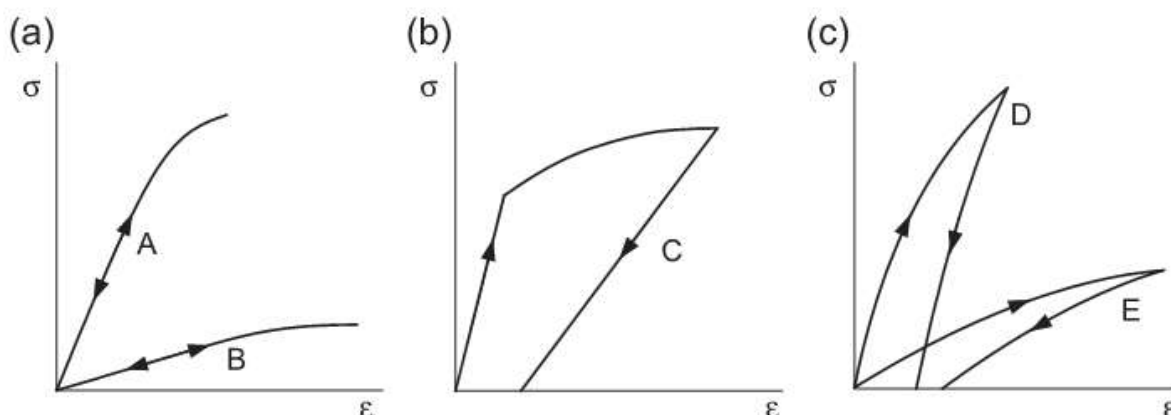
A biomassza energiatartalma hasznosítható közvetlen tüzeléssel, alkohollá való erjesztéssel üzemanyagként, növényi olajok észterezésével biodízelként, kémiai átalakítás után éghető gázként ill. folyékony üzemanyagként, anaerob fermentálás után biogázként. A biohulladékok további felhasználásuk előtt az esetek nagy részében előkészítést igényelnek, melynek része a biomassza aprítása. A szemcseméret csökkentése állateledel ill. élelmiszeripari felhasználás során is fontos szereppel bír a szálal anyagok esetén (pl.: lucerna, fűszerek, stb.).

2. APRÍTÁSI IGÉNYBEVÉTELEK

A biomassza-nyersanyag aprítására megfelelő igénybevételek nyírás, vágás ill. dörzsölés. A nyíró, vágó aprítógépekben az aprítást az egymással szembe mozgó (forgó) vágó, nyíró szerszámok végzik. A jellemző meghatározó igénybevétel a nyírás. A nyírási igénybevétel mellett megtalálhatóak az ütő igénybevétellel dolgozó gépek is a mezőgazdasági alkalmazásban (kalapácsos törő), ahol legnagyobb részben a nagy sebességgel forgó kalapácsok ill. lemezkalapácsok biomasszával történő ütközésének hatására következik be az aprítás. A következő két alfejezetben az anyagok alakváltozási viselkedését ill. a biomasszák aprításakor fellépő legfontosabb igénybevételi módokat (vágás, nyírás) ismertetjük.

2.1 Anyagi tulajdonságok

A szilárd anyagok alakváltozási viselkedésük (fajlagos alakváltozás-feszültség diagram) alapján csoportokba sorolhatók (2.1.1. ábra). *Nemlineáris-rugalmas* osztályon (2.1.1/a) belül a gumi-rugalmasak (nagy deformáció kis feszültség hatására) ill. rideg viselkedés (kismértékű deformáció és nagy feszültségek) különböztethetők meg. A biomasszákra, biohulladékokra nem jellemző a rideg viselkedés. A *rugalmas-képlékenyek anyagok* (2.1.1/b) a folyáshatárig rugalmas viselkedést mutatnak, a továbbiakban irreverzibilis alakváltozást szenvednek, megfolynak. A *viszko-elasztikus* (2.1.1/c) viselkedésre befolyással bír a hőmérséklet és a feszültségváltozás sebessége. A reális anyagok többé-kevésbé kevert alakváltozási viselkedést mutatnak.

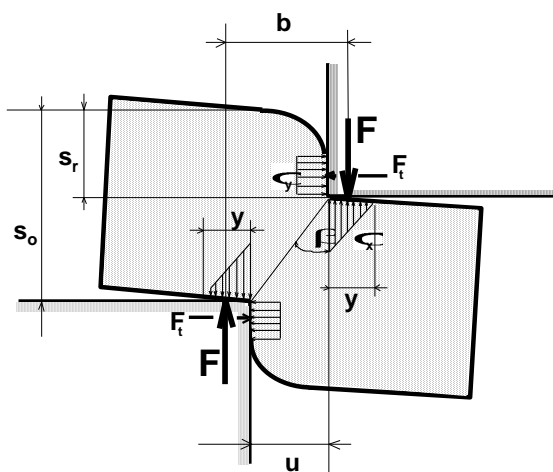


2.1.1 ábra: Testek alakváltozása (σ - ébredő normál feszültség, ϵ - fajlagos alakváltozás) [4]

2.2 Vágó, nyíró igénybevételek

Nyírás

A nyírás során a lemezes ill. szálaz anyagot annak nyírási felületén eltolva elrendezett a nyíró-él pár először képlékenyen deformálja (és keményíti), majd elszakítja (2.2.1 ábra).



$$b = u + 2 y/3$$

$$M_B = F b$$

A nyíróerő nagysága:

$$F = p A$$

p - maximális fajlagos nyíróerő [Pa]

A - nyírt felület [m^2]

$$p = k \tau_m$$

τ_m (laboratóriumban mért) nyírószilárdság

k - korrekciós tényező (a laboratóriumi és az üzemi feltételek közötti eltérés)

A nyomaték maximális értéke:

$$M_{\max} = b F_{\max} = k A \tau_m b \quad [Nm]$$

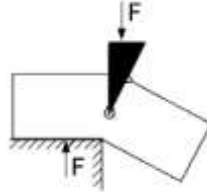
b - erőkar [m]

2.2.1. ábra: Erőtani viszonyok a nyírás során [1]

A folyamat során a szerszám (F erővel) elsőként megnyomja az anyagot, amely ennek hatására a nyírórésben (u) meggörbül, a nyomófeszültségek a nyíró-él környezetében koncentrálnak, ezáltal M_B hajlító nyomaték lép fel és F_t oldalirányú erő ébred. A nyíróerő növelésével a nyíró-éleknél keletkező képlékeny zónák összeérnek, az elmozdulás egy meghatározott értékénél pedig repedések keletkeznek, amelyek gyorsan tovaterjednek a vágandó felületen. Az u rész optimális értékénél a két repedés közvetlenül egymásba fut. Ha a e rész kisebb az optimálisnál, akkor a repedések egymást elkerülik, amelynek következtében összekötő felület (híd) alakul ki, majd az a vágóerő hatására híd is szétszakad és ezzel befejeződik a nyírás. [1]

Vágás

A vágást jellemzi, hogy a szétválasztási zóna a vágókés közvetlen környezetében egyenes vonal mentén az aprítandó anyagban terjed. Az aprítandó anyag így a vágókés mentén fellépő nyomófeszültségek hatására (ami a szétválasztáshoz szükséges húzófeszültségeket biztosítja) és az ék feszítő hatása által kerül szétválasztásra. Az ellen-késdarab ellentartóként szolgál, és a vágást csak a késhez mért legkisebb távolsága befolyásolja. [10]



2.2.2 ábra: Vágás

Nyíró áramlás

A relatív gyenge szilárdsággal bíró anyagok (pl.: használt papír zagy) feltárására nyíróáramlások és intenzív turbulens mezők is használatosak. Az ekkor fellépő nyíróigénybevételek kímélő szétválasztást eredményeznek.

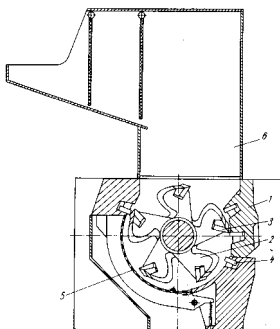
3. BERENDEZÉSEK

Az aprítási feladatokra nagyszámú aprítógép áll rendelkezésre. A szálás, nyúlós anyagok (pl. búzaszalma) aprítása egyre nagyobb jelentőséggel bír az ásványi nyersanyagok aprítása mellett. Kutatások kimutatták, hogy például a szálás biomasszák aprítását több lépcsőben célszerű elvégezni. Első lépésként ($x < 50 \text{ mm}$; kb. 11 kWh/t) bálabontó aprítógép alkalmazása szükséges, amely a legtöbb esetben kalapácsos törő vagy vágómalom elvén működik, majd a finom aprításhoz ($x_{50} = 0,5..5 \text{ mm}$; kb. $30..100 \text{ kWh/t}$) vágómalmot, ütőcsapos malmot illetve kalapácsos törőt alkalmaznak. A fajlagos aprítási munka a feladott anyag nedvességtartalmának növekedésével ill. a termék szemcseméretének csökkenésével exponenciálisan nő. [6, 7]

A hulladék biomasszák aprításának legfontosabb gépei kerülnek bemutatásra a következőkben.

Vágómalom

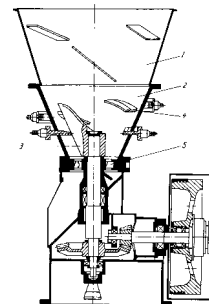
Ezt az aprítógépfajtát leggyakrabban a finomaprításánál, őrlésénél alkalmazzák (3.1-3.2. ábra). Horizontális vágómalom esetén a nagy fordulatszámú ($5..25 \text{ m/s}$) vágókésekkel felszerelt vágó-rotor egy nagyon stabil házban forog, amelyen áll vágókések helyezkednek el: aprítás az álló és mozgó kések egymás melletti elhaladásakor következik be az álló kés feletti szemcsefelhőben. Az aprító-teret alul egy fenékszita határolja.



3.1 ábra: Vízszintes tengelyű vágómalom

[2]

(1) ház; (2) rotor (3) vágókés; (4) sztatorkés (5) szitarács; (6) adagolótölcsér

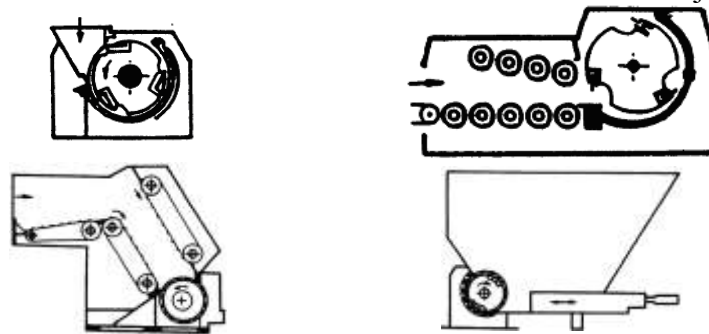


3.2 ábra: Függőleges tengelyű vágómalom

[2]

(1) feladótölcsér; (2) törőtölcsér; (3) markoló; (4) kopásálló kés; (5) gyűrűs vágóhézag

A rotoron a kések elhelyezésének módját a mindenkor aprítási feladat határozza meg. A fa aprítás területén alkalmazásra kerülő kialakításokat a következő ábra mutatja:

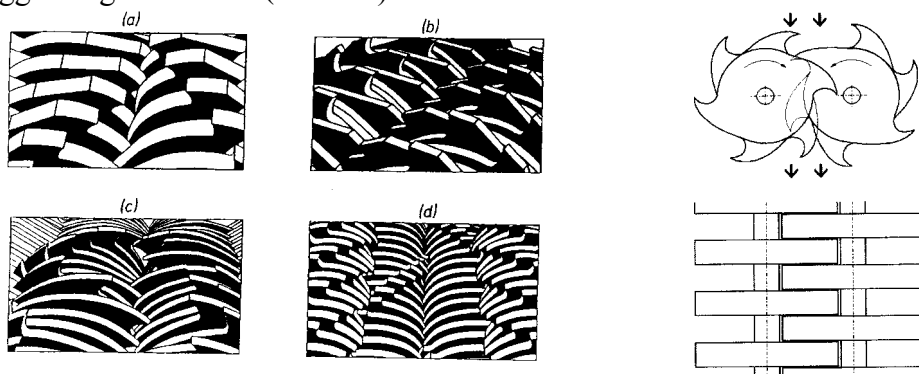


3.3. ábra: Vágómalmok fa aprítására [4]

(a) „vállfeladás”; (b) hengeres behúzórendszerrel ellátott; (c) láncos előtolás; (d) hidraulikus előtolás

Forgótárcsás nyíró-aprítógép

A nyírással előnyösen aprítható lágy, képlékeny, szívós, viszko-elasztikus és szálas anyagok, hulladékok, többek között cukorrépa, kukorica (cső, és szár), fagallyak (valamint műanyagok gumi, vékonyfalú fémtárgyak) elő-, durva- és középaprítására a forgótárcsás nyíró/aprítógépek előnyösen alkalmazható. A gép házában két vagy négy darab kis kerületi sebességgel forgó rotor van (3.4 ábra).



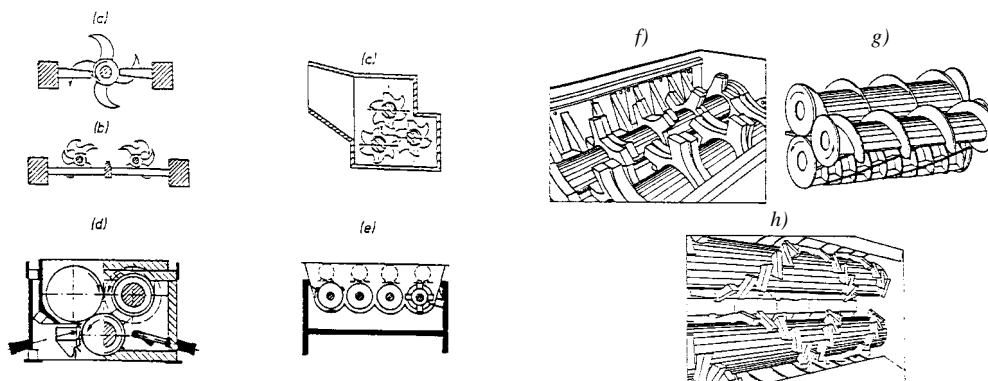
3.4 ábra: Forgótárcsák kialakítása kétrotoros gépeknél [5]

A rotorokon egymás mellett felváltva elhelyezett vágó- és távtartó tárcsák helyezkednek el. Az aprítás szembeforgó fogakkal is ellátott tárcsák között nyírással (kőrolló) és tépéssel történik. Felépítésüket, amit két vagy négy darab, $0,2 \dots 0,6 \text{ m/s}$ alatti kerületi sebességgel forgó rotor jellemez. Forgótárcsás nyíró-aprítógép alkalmazásakor a kis kerületi sebesség miatt, általában kisebb energia bevitel mellett, csekély zajjal valósítható meg a nyírás-vágás, tetszés szerinti darabokra vágja a feladott anyagot (pl. cukorrépa).

A forgótárcsás gépeknél az aprítás az egymásba nyúló vágótárcsák oldalélei (résméret $< 0,3 \dots 0,5 \text{ mm}$) és fogai által történik. Minthogy a nyíró- ill. vágó-igénybevételhez általában $< 1 \text{ mm}$ résméret szükséges. Az oldalélek nyírnak, a fogak pedig, mivel az esetek többségében a fogcsúcsok és a távtartó tárcsák közötti távolság több mm-t is elér, főként tépnek. Speciális lehúzó szerkezetek megakadályozzák, hogy a letépett és a keletkező résen áthúzott darabot a fogak magukkal vigyék. Az aprított anyag méretét a vágótárcsák szélessége, a tárcsák átmérője (kerülete) és a fogak tárcsánkénti száma határozza meg. [5]

Forgó tépő-csavaró aprítógépek

A forgó tépő-csavaró aprítógépek kis terhelési sebesség mellett dolgoznak. A forgó csavaró aprítóművekben (3.5. ábra) a rájuk jellemző -az aprítandó anyagban fellépő hajlításból, csavarásból eredő- húzó-igénybevételt a legtöbbször vízszintes tengelyű rotorra szerelt fogak hozzák létre.

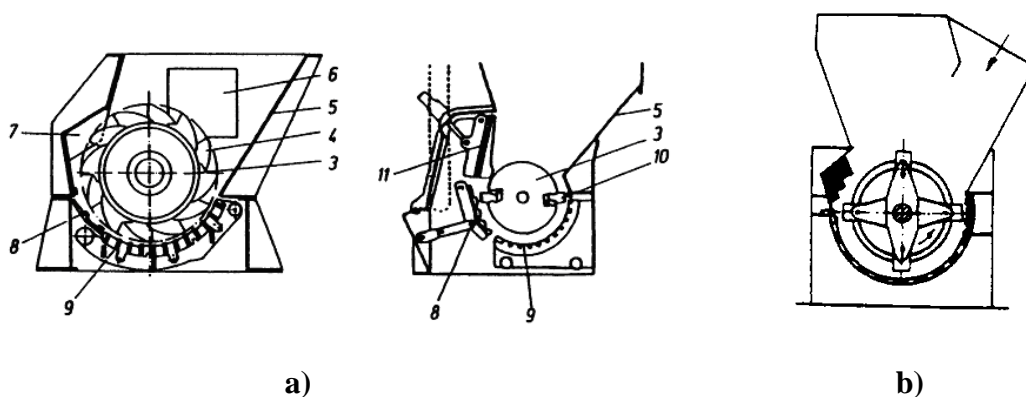


3.5 ábra: Forgó tépő- csavaró-aprítógépek és rotor kialakításuk [1]

A fellépő húzó-igénybevétel iránya szerint rendszerezhetők ezek a berendezések. A rotor tengelyére merőleges húzó-igénybevétellel dolgozik a 3.5 ábrán látható *f)* jelű berendezés. A húzó-igénybevétel párhuzamos a rotor tengelyével a *g)* gép esetén. A kettő kombinációja a *h)* aprítógép. A rotoros tépő-csavaró aprítógépek alkalmasak többek közt háztartási lom (4..20 kWh/t), fa (15..40 kWh/t), papír- és kartonpapír-hulladékok, valamint nedves és tapadós ömlesztett anyagok (pl. komposzt (<11 kWh/t)) aprítására. [1]

Gyorsjárású rotoros tépőberendezések

Nagyon sokoldalúak a fogakkal, bütykökkel ill. késekkel ellátott rotorokkal dolgozó tépőberendezések, amelyek jól alkalmazható rostos anyagok, a jobb oldali gép pl. papír aprítására aprítására. Példaképpen két ilyen berendezés látható az ábrán:



3.6 ábra. Gyorsjárású rotoros tépők

(3) rotor; (4) tépőfogak; (5) gépház; (6) kémlelő/karbantartó nyílás;
(7) fésűfog; (8) örlőpálya; (9) rosta; (10) fogasléc; (11)
tépőfogakkal ellátott lengőkar

Papír-shredder PALLMANN kialakítási móddal

Ezekre a típusokra jellemző, hogy az aprítás a rotoron lévő tépőegységek, és a házra erősített fésűfogak ill. tépőfogakkal ellátott lengőkar között jön létre. [4]

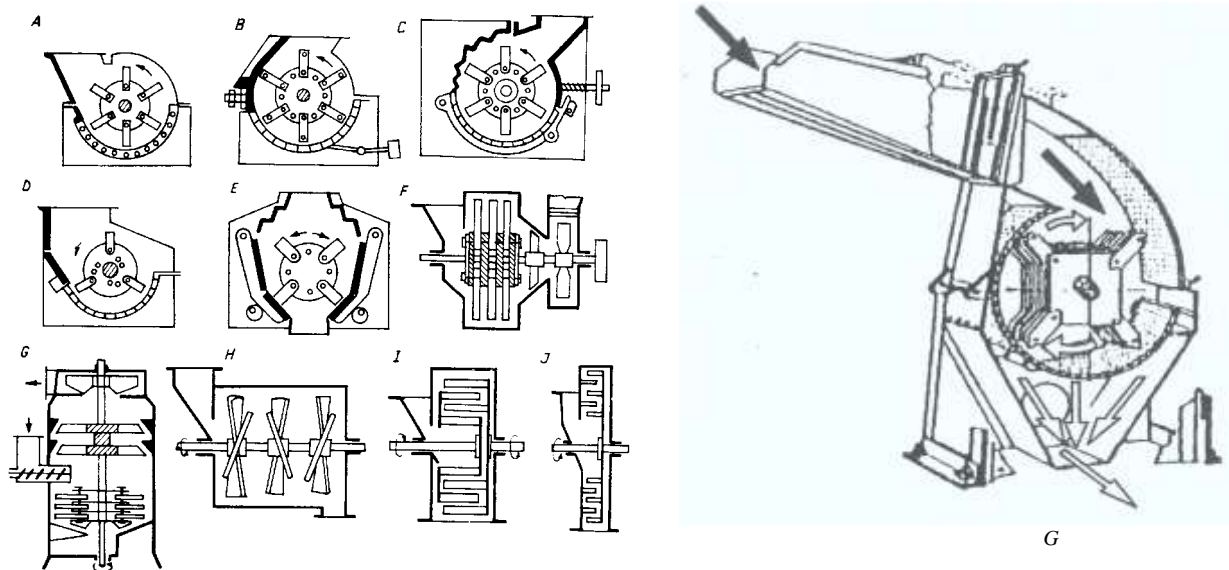
A papír és kartonpapír hulladékok jellemző aprítási tulajdonságai fésűs vagy fűrészfogalakú üllőkkel ellátott kalapácstörők alkalmazását tették szükségessé (3.6.ábrán a *b)* berendezés). Ezenél a berendezéseknél elengedhetetlen, hogy az aprítandó darabok hajlításával és csavarásával kapcsolatban lévő, aprításhoz megkívánt húzó igénybevételt elérjük.

Kalapácsos törő

Ezek a berendezések lágy, törékeny és szálás anyagok aprítására is alkalmasak, a szemcsés terményekre éppúgy, mint a burgonya vagy a cukorrépa készre aprítására. Töretük szemcsemérete igen széles tartomány fog át: durvatőrésre is, finomaprításra és őrlésre egyaránt használhatók. A kalapáctörő egy acéllemezházban helyezkedik el, ahol egy gyorsan forgó rotor található. A rotoron csuklós ütőszerszámok (kalapácsok, verőgyűrűk) helyezkednek el. Ezek az ütőszerszámok a centrifugális erő hatására radiálisan elmozdulnak, az őrlőtérbe bevezetett anyagok ezek által aprózódnak. Durvatörők fogórészének kerületi sebessége 20...30 m/s, középaprításra szolgáló gépeké 30...40 m/s, őrlőké 60...100 m/s.

A kalapácsos törők (3.7 ábra) alapvetően ütésen-ütközésen alapuló aprítógépek: az anyagot a kalapácsok ütése, és az őrlőtér falához való ütközés aprítja. Szálás anyagok aprítása során egyfajta nyíróerő is fellép. A jobb aprítás elérésének érdekében (nyíróerők növelése) gyakran álló ellenkéseket is beépítenek, ezek közt halad nagy sebességgel a rotorra rögzített kalapács (ütőszerszám) [8].

Az anyag gépben való tartózkodási idejét a rosták perforációja szabja meg, úgy az elérendő szemcsenagyságot is. Az aprított anyag átlagos szemcsemérete azonban lényegesen kisebb, mint a rosta lyukmérete (a maximális szemcseméret a lyuknyílás fele). A dara finomságának szabályozása rosta nyílásméretének változtatásával végezhető el, melyek lyukátmérője általában 2–12 mm között változik.



3.7 ábra: Kalapáctörők vázlatos rajza

A..G: lengőkalapácsos gépek; A lefelé ütő; B vízszintesen ütő; C felfelé ütő; D vízszintesen és (vagy) lefelé ütő kalapácsokkal, ráccsal; E vízszintesen ütő ráccsnélküli, reverzálható fordulatú gép; F és G zárt házú, az őrléményt légárammal elszállító vízszintes, ill. függőleges tengelyű gépek; H merev ütőttestű (verőszárnyas) malom; I dezintegrátor (kétkalitkás ütőpálcás malom); J diszmembrátor (egy forgótárcsás ütőpálcás malom); K takarmányfeldolgozásra kifejlesztett berendezés

A Q dara-tömegáram és a V_d dob- vagy rotortérfogat kapcsolata [3]:

$$Q = 43 V_d,$$

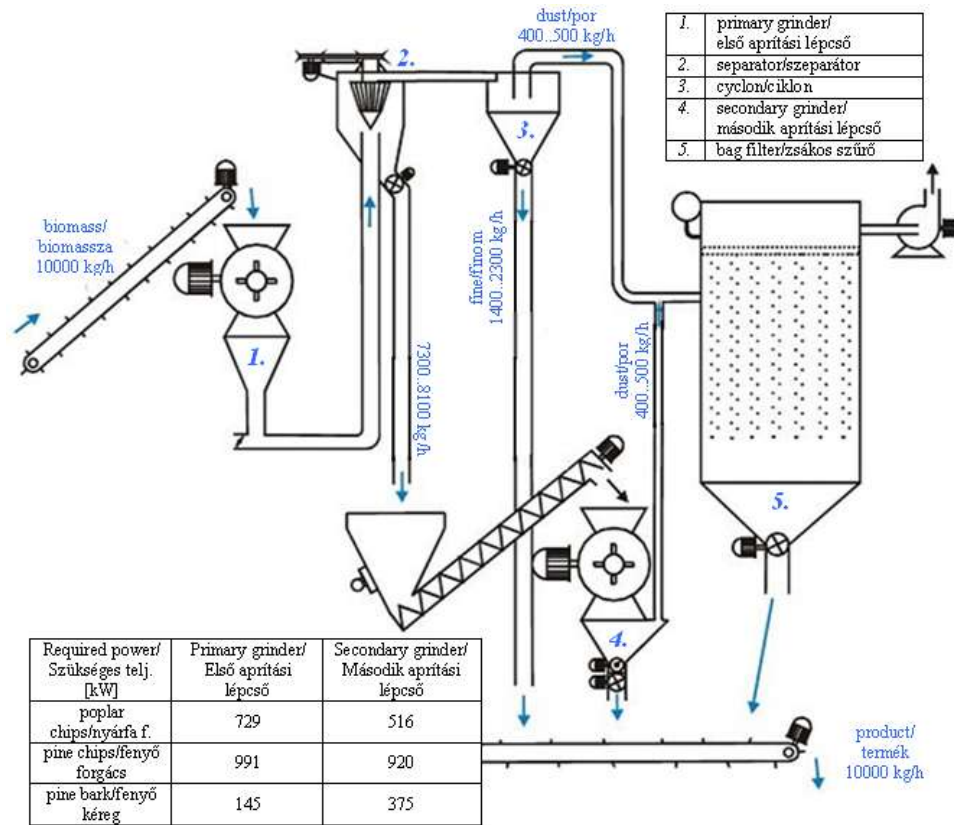
ahol:

$$V_d = D^2 \pi L / 4,$$

D - a dobátmérő a kalapácshegyeken mérve [m],

L - rotorhossz [m].

A 3.8 ábra egy 10 t/h különböző faaprítékok 1 mm alá őrlésére alkalmas kétlépcsős aprítási technológiát mutat, feltüntetve a tömegáramokat és a szükséges teljesítményeket.



3.8 ábra: Fa hulladékok aprítása két lépcsőben kalapácsos törőkkel [11]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Csöke B.: Előkészítéstechnika – Aprítás és osztályozás. Miskolci Egyetem, Eljárástechnikai Tanszék, Tanszéki jegyzet
- [2] Schubert, G.: Aufbereitung metallischer Sekundärrohstoffe. Band.I. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983
- [3] Kacz K., Neményi M.: Megújuló Energiaforrások. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1998
- [4] Zerkleinerungstechnik für das Recycling von Abfällen und Schrotten Schubert, G.
- [5] Jackel, H.-Schubert, G.: Die Zerkleinerung der Abfälle mittels Rotorscheren. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.82-98
- [6] Scheibe, W Schnedelbach, G. Lippek, E: Energetische Aspekte der Zerkleinerung nachwachsender Rohstoffe. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.215-222
- [7] A hazai szénbiobrikettgyártás megalapozását szolgáló kutatás fejlesztés (II kutatási részjelentés), ME Eljárástechnikai Tanszék, 2004 december
- [8] Bernhardt, G., Firus, S.: Zerkleinereun von Boden und Halmgütern (Stroh und Holz) aus der Sicht der Minimierung der spezifischen Energie. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.57-71
- [9] Tarján, G.: Mineral processing. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- [10] G. Schubert, S Bernotat: Comminution of non-brittle materials. Int. J. Miner. Process. 74S (2004) S19-S30
- [11] Luis S. Esteban, Juan E. Carrasco: Evaluation of different strategies for pulverization of forest biomasses. Powder Technology 166 p.139-151, 2006

Comminution of waste biomass material

Sandor, NAGY

Engineer of Process Engineering

Rawmaterial Preparation and Environmental Process Engineering Institute

University of Miskolc

1. INTRODUCTION

After fossile energy carriers biomass represents the second main power resource in our current worls. Biomass waste material considerered as secondary energy resource can be classified into three major categories:

- By-products and wastes of conventional agricultural production (straw, corn-cob, and stalk, etc.),
- Wastes associated with forestry and woodworking (chips, scraping, saw-dust, phloem, etc.),
- Secondary biomass from animal breeding (manure and the like) [3].

The energy stored in the biomass may be utilized in several ways including direct combustion, fermentation to fuel alcohol, esterification of vegetable oil to obtain bio-diesel fuel, chemical transformation to obtain combustibile gases or liquids, anaerobic fermentation to obtain biogas. In most cases bio-waste shall undergo pre-conditioning treatment prior to actual utilization. Comminution is a part of such conditioning. Size-reduction also plays an important role in preparing animal feed or other food products from fibrous materials (like alfalfa, spicery, etc.).

2. COMMUNTING EFFECTS

For comminution of biomass suitable dynamic effects are shearing, cutting and attrition. In comminution machines utilizing shear- or cutting force size reduction is made by cutting tools moving (rotating) facet o each-other. The characteristic dynamic force in such machines is shearing. Other machines, also used in agriculture, utilize on collision and impact force (hammer mill) where the impact between high-speed rotary hammers or sheet-hammers and the biomass results in comminution of the latter. In the following two sub-sections behavior of various materials exposed to strain forces as well as the most important dynamic effects.

2.1 Material properties

Solid materials can be classified in terms of their behavior (represented by specific deformation vs. strain diagram - Figure 2.1.1) under strain. The class of *non-linear resilience* (Figure 2.1.1/a) includes two different material types, namely rubber-like (high deformation under low strain) and brittle (small deformation under high strain) ones. Brittle behavior is not a characteristic feature of biological wastes or biomass. *Flexi-elastic materials* (Figure 2.1.1/b) show flexible behavior up to their yield-point. Under stress over yield-point they undergo irreversible deformation (flaw). The behavior of *viscoelastic materials* (Figure 2.1.1/c) is influenced by temperature and the rate of straining. Real materials, more or less, show a combined behavior under strain.

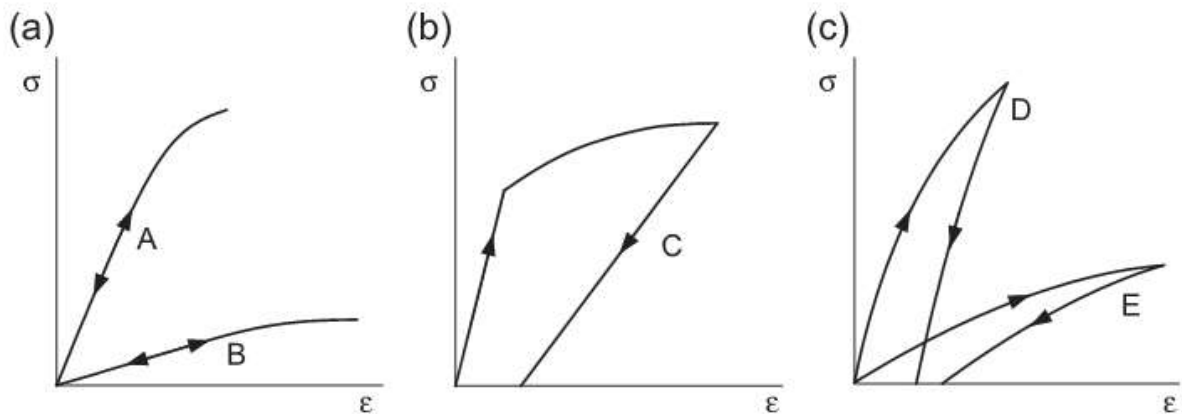
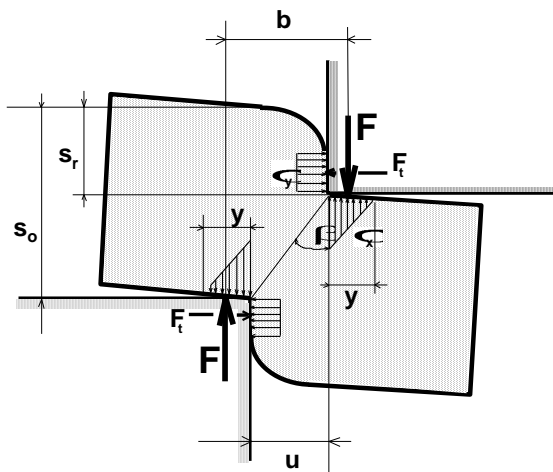


Figure 2.1.1: Deformation of bodies (σ - arising normal stress, ε – specific deformation [4])

2.2 Cutting and shearing effects

Shearing

Lamelliform or fibrous materials are at first plastically deformed (also hardened) then broken by a pair of offset cutting blades (Figure 2.2.1)



$$b = u + 2 y/3$$

$$M_B = F b$$

The value of shearing force:

$$F = p A$$

p – maximum specific shear [Pa]

A – size of the cut surface [m^2]

$$p = k \tau_m$$

τ_m shear resistance (laboratory data)

k – correction factor (for compensation of deviations between lab and in-péant conditions)

Maximum moment of force:

$$M_{\max} = b F_{\max} = k A \tau_m b \quad [Nm]$$

b – arm of the force [m]

Figure 2.2.1: Forces conditions under shearing [1]

In a first step the shearing tool presses (with the force F) the material forcing it to bend in the shearing gap (u). Compressing forces concentrated in the proximity of cutting edges generate M_B bending moment and an F_t lateral force. Under increasing force the elastic zones along the shearing edges adjoin and, after a certain dislocation rapidly spreading cracks are formed on the shear surface. With optimally adjusted u gap two cracks directly converge to each-other. With less than optimal gap the cracks are deflected leaving a connection surface (bridge) between the two surfaces of the cut. The cut is completed when under continued effect of the force the bridge breaks off. [1]

Cutting

A characteristic feature of such cutting is that the splitting zone of the material propagates linearly along the close proximity of the cutting blade. In such cutting the material is

separated by effects of the compressing strain arising along the cutting edge and the wedge action of the blade (the compressing strain also provides the pulling force required for splitting of the cut surfaces). The counter piece of the blade serves as a support, and except for its minimum distance from the cutting blade, has no influence on the cutting process.[10]

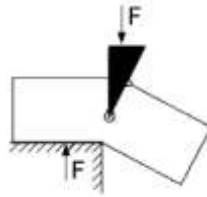


Figure 2.2.2: Cutting

Shearing flow

For disintegration of relatively low-strength materials (waste paper pulp) shearing flow and intensive turbulent fields are also utilized. Shear-forces in such disintegration process results in gentle splitting of particles.

3. EQUIPMENTS

A wide variety of comminution machines is available. Beyond that of minerals, the size reduction of fibrous and glutinous materials (like wheat-straw) is gaining increasing importance. Various investigations demonstrate that comminution of fibrous biomass is preferably made in two steps. In a first step (where $x < 50$ mm, energy demand ~ 11 kWh/t) application of a hammer-mill or cutting mill type bale breaker seems reasonable. For fine comminution (where $x = 0.5$ to 5 mm, energy demand ~ 30 to 100 kWh/t) cutting mill, percussion mill or impact mill are used. The specific energy (work) demand of comminution is increasing with increasing water content of the raw material and the work demand exponentially increases with decreasing target particle-size. [6, 7]

The most important machinery used for comminution of waste biomass is shown hereunder.

Cutting mill

This type of equipment is most frequently used in fine crushing and grinding processes (Figures 3.1 and 3.2). With horizontal cutting mills high speed rotor (5... 25 m/s) equipped with cutting knives is rotated in a stable casing with knives on its inside surface (stator knives). Actual cutting takes place in the floating grain zone above the stator knives when the rotary knives pass by stator knives. The comminution zone is bordered by a bottom sieve

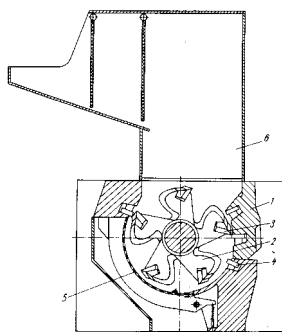


Figure 3.1: Horizontal cutting mill[2]

(2) Casing; (2) rotor (3) rotor knife; (4) stator knife (5) sieve; (6) feed hopper

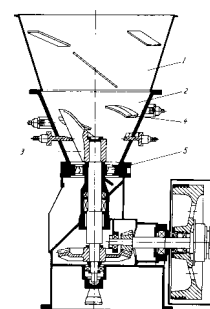


Figure 3.2: Vertical cutting mill [2]

(1) feed hopper; (2) breaker cone; (3) grab; (4) wear-resistant knife; (5) ring-like cutting gap

Positioning of the rotor knives depends on the nature of the subject crushing task. Various blade positioning mostly used in wood chipping are shown hereunder.

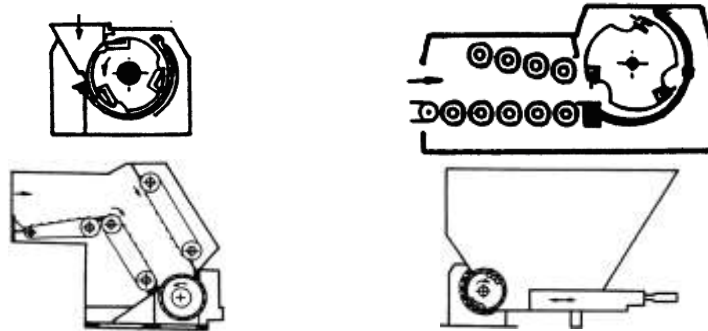


Figure 3.3: Cutting mills used for wood chipping [4]

(a) „collar charge”; (b) cylindrical drawing-in mechanism; (c) feed conveyor; (d) hydraulic feeder

Rotary shear/shredder

In preliminary, coarse and medium grade crushing of soft, plastic, tough and visco-elastic fibrous and waste materials like sugar beet, corn (cob and stalk), wood sticks (as well as rubber, thin wall metal objects) easily reducible by shearing rotary disc type shear/shredder machines are preferably used. With such machines two or four low speed rotary discs are found (Figure 3.4).

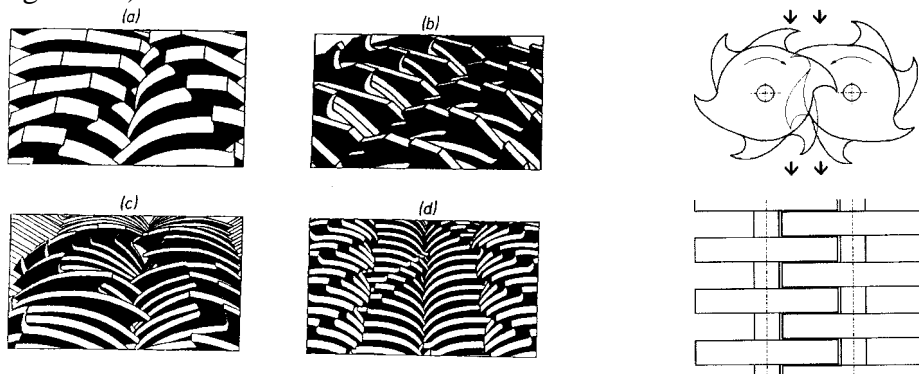


Figure 3.4: Positioning of rotary shear/shredder with two-rotor machines [5]

On the rotors cutting and spacer discs are alternately positioned. Sizes reduction is effected by shearing and shredding taking places between the discs (circular shears) also equipped with “teeth” facing each-others. Their design is characterized by two or four low peripheral velocity (0.2 ... 0.6 m/s) rotary discs. The applied low peripheral velocity results in low energy uptake and low noise level. Additionally, target size of the charged material (e.g. sugar beet) can arbitrarily be selected.

With rotary shear/shredder size reduction is effected by interpenetrating lateral edges of the discs and their “teeth” (the gap between discs is $<0,3...0,5 \text{ mm}$) For generating effective shearing and cutting forces a gap less than 1.0 mm is required. Side edges exert mainly shearing forces while the teeth are mainly shredding the material since the distance between tips of the teeth and the spacer discs may be of several millimeters. Special stripper devices prevent the shreds to be pulled by teeth. Resulting particle size depends on the width and diameter (circumference) of the discs as well as on the number of teeth located on the discs [5]

Rippers

Rotary tearing/ripping crushers operates at low working speed. In such crushers (Figure 3.5) the required torsion/ripping strain is generated in the material to be comminuted by cogs most frequently fixed on horizontal rotors.

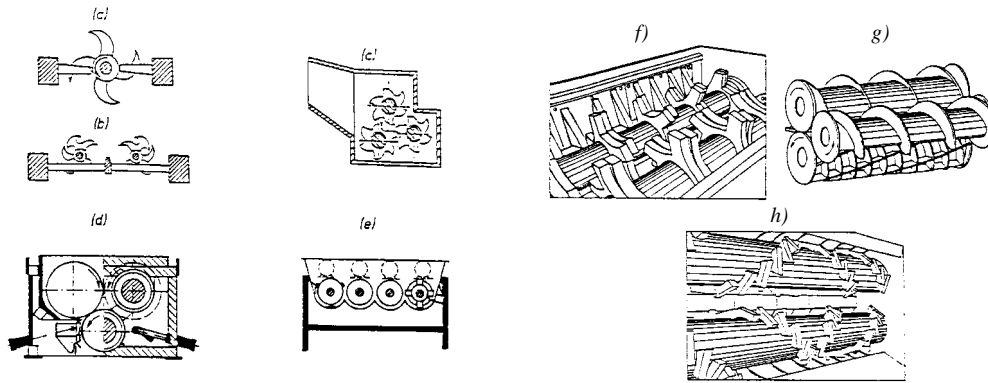


Figure 3.5: Rippers and their rotors [1]

Such machines may be classified after the orientation of arising tearing stress therein. Tearing stress perpendicular to the rotor axis is utilized in the machine type marked “f” in Figure 3.5. In case of machines marked with “g” (screw shredders) in said figure, the arising tearing stress is parallel to the rotor axis. A combined effect is utilized by machines marked with “h”. The rippers may be used for crushing of household bulk refuse (energy demand = 4.2 kWh/t), wood (15...40 kWh/t, waste paper and cardboard as well as wet and/or sticky bulk materials (e.g. compost, 11kWh/t) [1].

High speed rotary shredders

Rotary shredders working with various cogs, knobbles or knives are very versatile and highly preferable for use with fibrous materials, like opaper – e.g. the machine illustrated at the right in the figure below. The figure illustrate two of such machines.

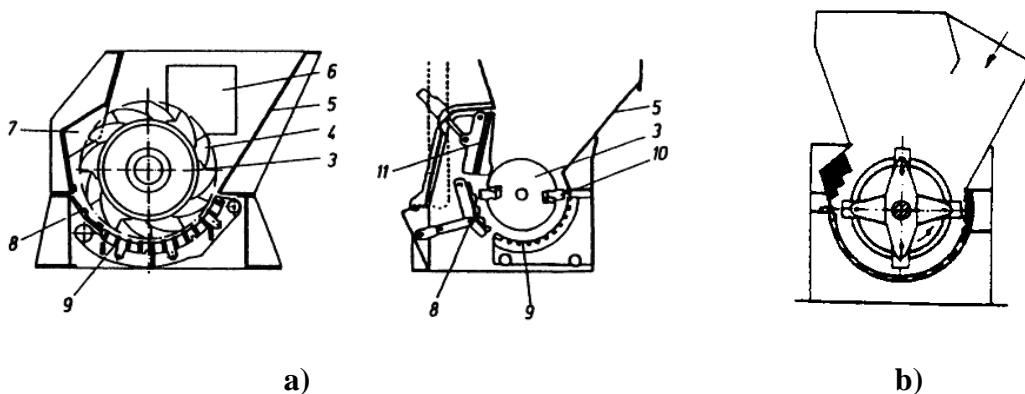


Figure 3.6: High-speed rotary shredders

(3) rotor; (4) ripping teeth; (5) casing; (6) monitoring/maintenance hole; (7) quill; (8) milling track; (9) sieve; (10) gear-rack; (11) swivel arm with ripping teeth

PALLMANN design paper shredder

In such machines size reduction characteristically takes place between the shredding/ripping elements on the rotor and the shredding/ripping teeth fixed on the casing [4]

Characteristic features of paper and cardboard wastes require the application of hammer mills with serrated or saw-tooth shape anvil (Figure 3.6/b). With such machines the torsion and bending stresses required for crushing of the processed material shall inevitably be reached.

Hammer mill

Such equipment is suitable for crushing and milling of soft, fragile and fibrous materials alike, including cereals, potatoes or sugar beet. Particle size of the crushed products may be varied in a wide range so they are applicable for both coarse crushing, fine crushing and. The hammers are located in sheet-steel casing together with a high speed rotor. The rotors are equipped with hinged crushing tools (hammers, driving rings). The arising centrifugal force makes the crushing elements in radial arrangement and thus the elements break the feed material. Peripheral velocity of rotors of coarse shredders varies between 20 to 30 m/s while that of medium grade shredders and fine grinders varies in the range of 30 to 40 and 60 to 100 m/s, respectively.

The operating principle of hammer mills (Figure 3.7) is based on collision/impact forces: the material crushes when colliding with the hammer and/or the wall of the working space. When comminuting fibrous materials with a hammer mill certain shearing stress is also generated. For improvement of resulting comminution through increased shearing stress so called dead knives (stator knives) are also frequently installed. The high speed crushing tool (hammers hinged onto the rotor) passes through between such dead knives [8].

Residence time of the crushed material and its resulting particle size are determined the mesh-size of the built-in screen. (The maximum particle size is equal to half of the screen's mesh size). Fineness of the granulated product is controlled by variation of the screen's mesh (generally between 2 to 12 mm).

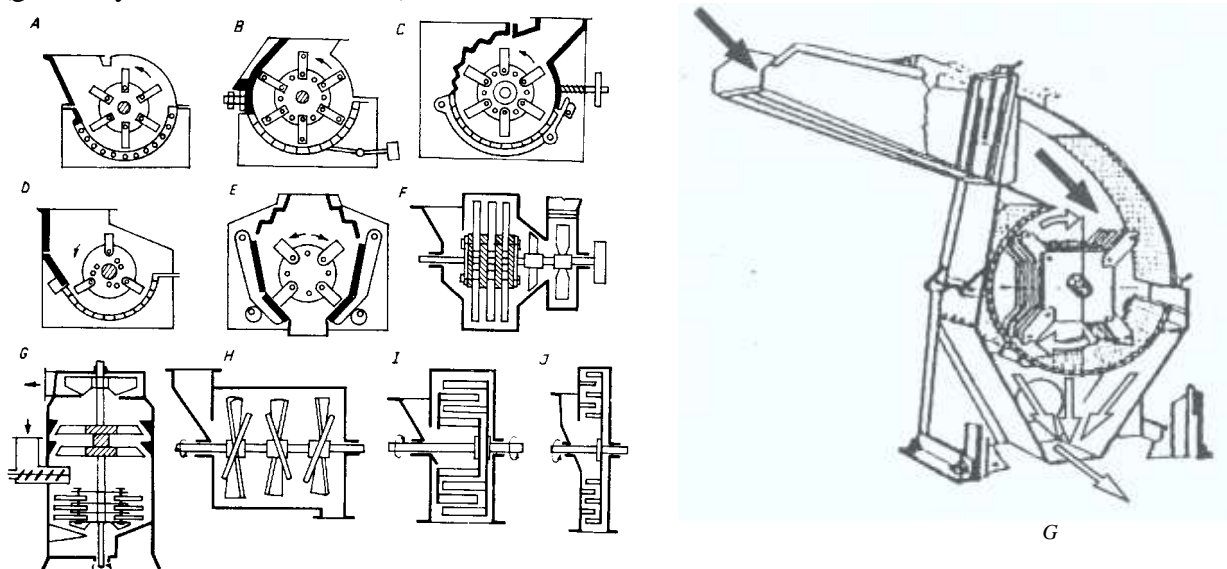


Figure 3.7: Illustration of hammer mills

A through G: machines with swivel hammers; A downward impact; B horizontal impact, C upward impact; D horizontal and/or downward impact hammers with grid; E horizontal impact, reversible rotation machine without grid.; F and G machine with closed casing, horizontal or vertical shaft, the crushed product removed by air-stream; H paddle-mill with rigid striker I disintegrator; J dismembrator; K equipment specifically developed for conditioning of animal feed

Correlation between “Q” mass flow rate of the crushed product and “ V_d ” rotor or drum volume: [3]:

$$Q = 43 V_d,$$

Where:

$$V_d = D^2 \pi L / 4,$$

D – drum diameter measured at hammer tips [m],

L – rotor length [m].

Figure 3.8 illustrates a 10 t/h output capacity unit used for two stage comminution of wood chipping by hammer mill to particle size below 1.0 mm. Mass flow-rates and energy input data are also shown.

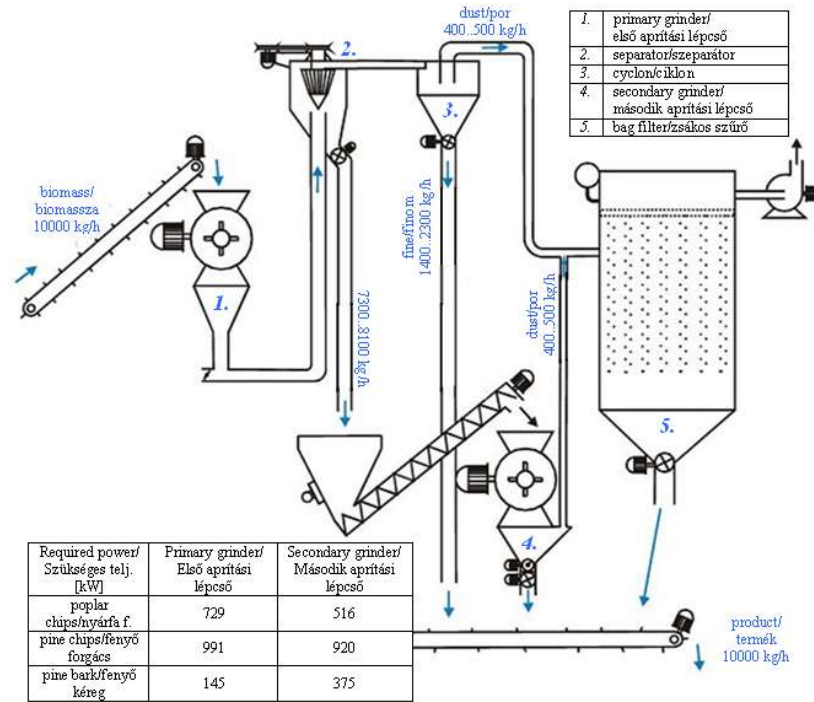


Figure 3.8: Comminution of wood chipping in two stages by means of hammer mill [11]

References

- [1] Csöke B.: Material Processing – Comminution and Classification, University of Miskolc, Department Process Engineering – university paper
- [2] Schubert, G.: Aufbereitung metallischer Sekundärrohstoffe. Band.I. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1983
- [3] Kacz K., Neményi M.: (Renewable energy sources) Megújuló Energiaforrások. Publisher: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1998
- [4] Zerkleinerungstechnik für das Recycling von Abfällen und Schrotten Schubert, G.
- [5] Jackel, H.-Schubert, G.: Die Zerkleinerung der Abfälle mittels Rotorscheren. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.82-98
- [6] Scheibe, W Schnedelbach, G. Lippek, E: Energetische Aspekte der Zerkleinerung nachwachsender Rohstoffe. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.215-222
- [7] (2nd interim report on a development project aiming at establishing domestic production of coal based bio-briquette). A hazai szénbiobrikettgyártás megalapozását szolgáló kutatás fejlesztés (II kutatási részjelentés), ME Eljárástechnikai Tanszék, Dec. 2004
- [8] Bernhardt, G., Firus, S.: Zerkleinereun von Boden und Halmgütern (Stroh und Holz) aus der Sicht der Minimierung der spezifischen Energie. Freiburger Forschungshefte, 1997. A840.p.57-71
- [9] Tarján, G.: Mineral processing. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- [10] G. Schubert, S Bernotat: Comminution of non-brittle materials. Int. J. Miner. Process. 74S (2004) S19-S30
- [11] Luis S. Esteban, Juan E. Carrasco: Evaluation of different strategies for pulverization of forest biomasses. Powder Technology 166 p.139-151, 2006