

ENERGIA- ÉS LCA MODELLEK INTEGRÁLÁSA GYÁRTÁSI FOLYAMATOKRA

XVII. LCA KONFERENCIA
ÓBUDAI EGYETEM
2022

ELŐADÓ:
DR. MANNHEIM VIKTÓRIA
TUDOMÁNYOS FŐMUNKATÁRS

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR
ENERGETIKAI ÉS VEGYIPARI GÉPÉSZETI INTÉZET



Extraction of raw materials



LCA



Production



Transport



FACULTY OF
MECHANICAL ENGINEERING
AND INFORMATICS



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC

KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

1996-2008

Finom és ultrafinom őrléstechnikai kutatások a Berliini Műszaki Egyetemen és a Miskolci Egyetemen (száraz és nedves őrlés).

1997-2005

Diplomaterv, szakdolgozat, PhD disszertáció, oktatási tevékenység (őrléstechnika + keverés).

2011-

Kutatások és oktatási tevékenység az LCA területén.

1997-

83 db folyóiratcikk, könyvfejezet, monográfia (mtmt adatbázis) magyar, német és angol nyelven az őrléstechnika és LCA szakterületeken.

2022

Őrlés energiaigénye + őrlés LCA integrációja = **ENERGIA-LCA INTEGRÁLÁSI MODELL.**

KUTATÁSI CÉLOK

- Fő kutatási cél: Nedves mészkőőrlési folyamatra vonatkozó energia- és LCA integrálás módszertanának kidolgozása és energia-LCA integrálási modell felállítása.
- Mészkő őrlési paramétereinek meghatározása száraz és nedves őrlésre laboratóriumi malmokban.
- Szemcseméreteloszlási függvény leírása empirikusan és a jellegzetes szemcseméret meghatározása.
- Energiafogyasztás meghatározása dimenzióanalízissel. Őrlési finomság-őrlési idő és őrlési finomság-fajlagos őrlési munka közötti kapcsolatok felírása matematikailag.
- Mészkő fajlagos felületének meghatározása és energiamodell felállítása.
- Életciklus-értékelés és LCA-alapú modell felállítása mészkő nedves őrlésére GaBi szoftverrel. Nedves őrlés környezeti hatásai eredményeinek kiértékelése.
- Energia-LCA integrálási modell felállítása a környezeti hatások és a hasznos termék tömegére vonatkozó fajlagos energia közötti matematikai összefüggések felírása által.

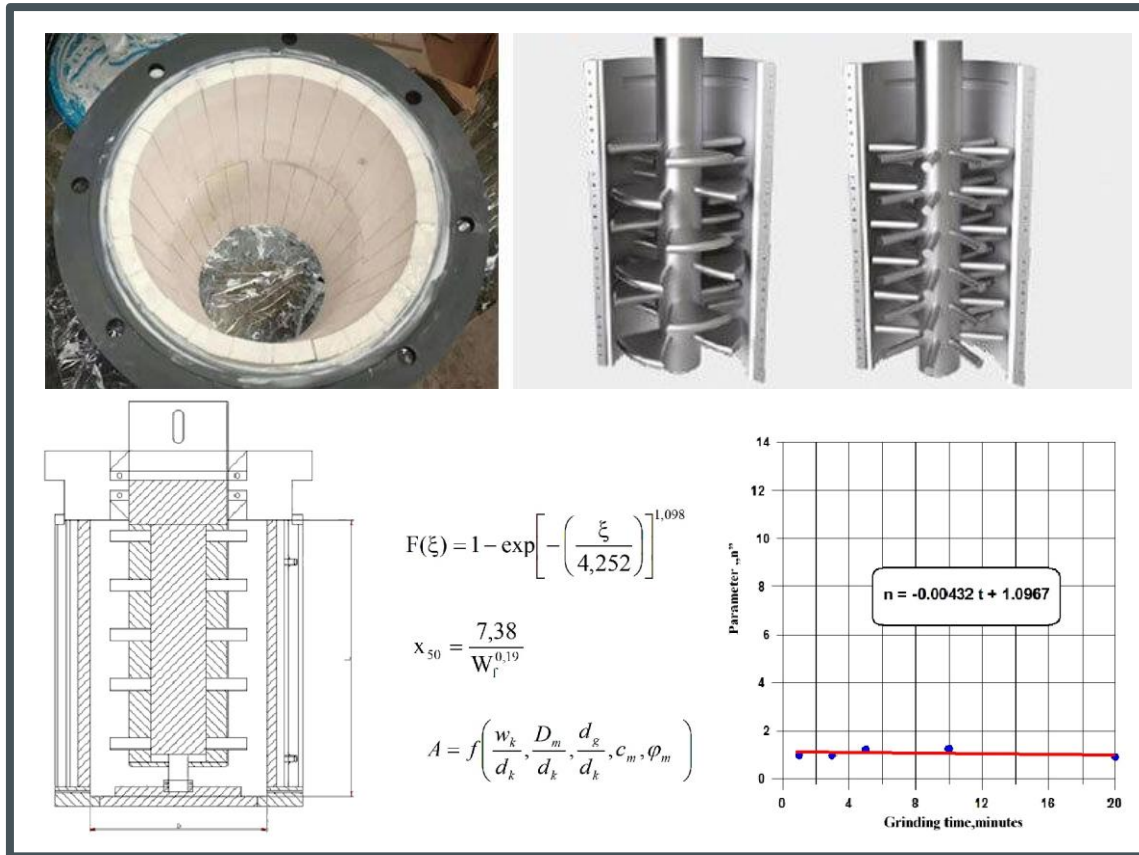
MÉSZKŐ SZÁRAZ ŐRLÉSE BOND-MALOMBAN



Őrlési eredmények:

- A mészkő Bond Work Indexe: 14,45 kWh/t.
- A Hardgrove Index (HGI) meghatározása során a 0,63-1,25 mm és 50-100 μm szemcseméretű frakciókból származó 50-50 g-os mészkő mintákat 60 malomfordulatig őröltem, majd az őrölt anyagot 0.071 mm-es szitán átengedtem. Ezután a standard Hardgrove formulával a HGI számított értéke: 73,74.
- A Bond Operating Index-et (W_{iBH}) a HGI alapján becsültem meg, melynek értéke: 12,79 kWh/t.
- Bond őrlés során az őrölt mészkő medián szemcsemérete: 65 μm .
- A fajlagos energiából származtatható üzemi Bond őrlési tényező értéke: 4.734 kWh/t.

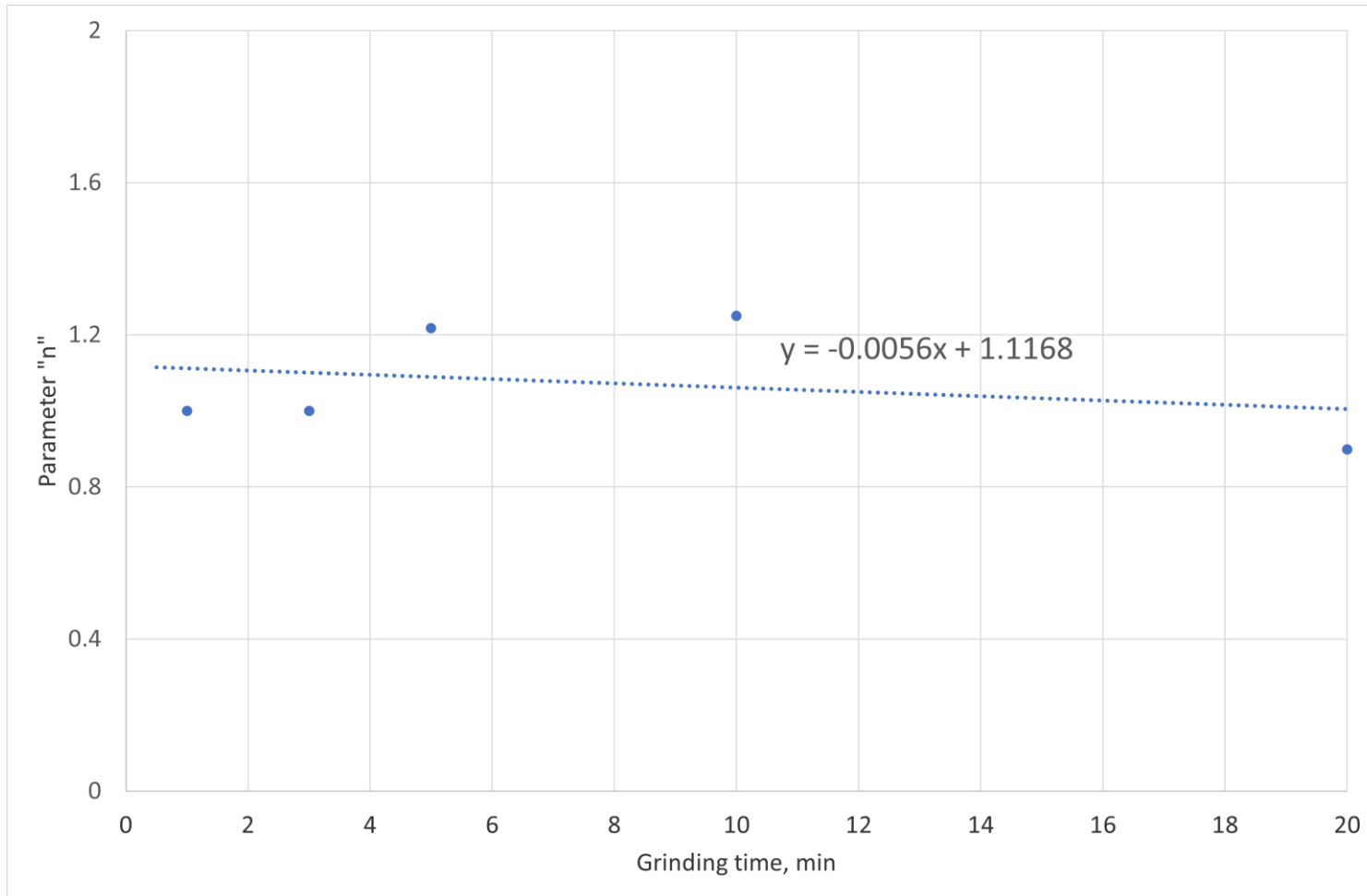
MÉSZKŐ NEDVES ŐRLÉSE KEVERŐ GOLYÓSMALOMBAN



Őrlési eredmények:

- 20 perces őrlés után a mészkötermékek medián szemcsemérete: 1,76 μm és maximális szemcsemérete: 9,6 μm (70% malomtöltési fok, 1.440 f/min. és 20% szilárdanyag-tömegkoncentráció mellett).
- A fajlagos energia a 178 Nm/s malomteljesítményből határozható meg (malomtöltési fok: 70%, szilárdanyag-tömegkoncentráció: 20%).
- Fajlagos őrlési munka: 1.515 kWh/t. (malomteljesítmény: 0,18 kW).

„N” KITEVŐ ÉRTÉKEI AZ ŐRLÉSI IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN



$$F(x) = 100[1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^n\right]]$$

$$n = -0.00432 t + 1.098$$

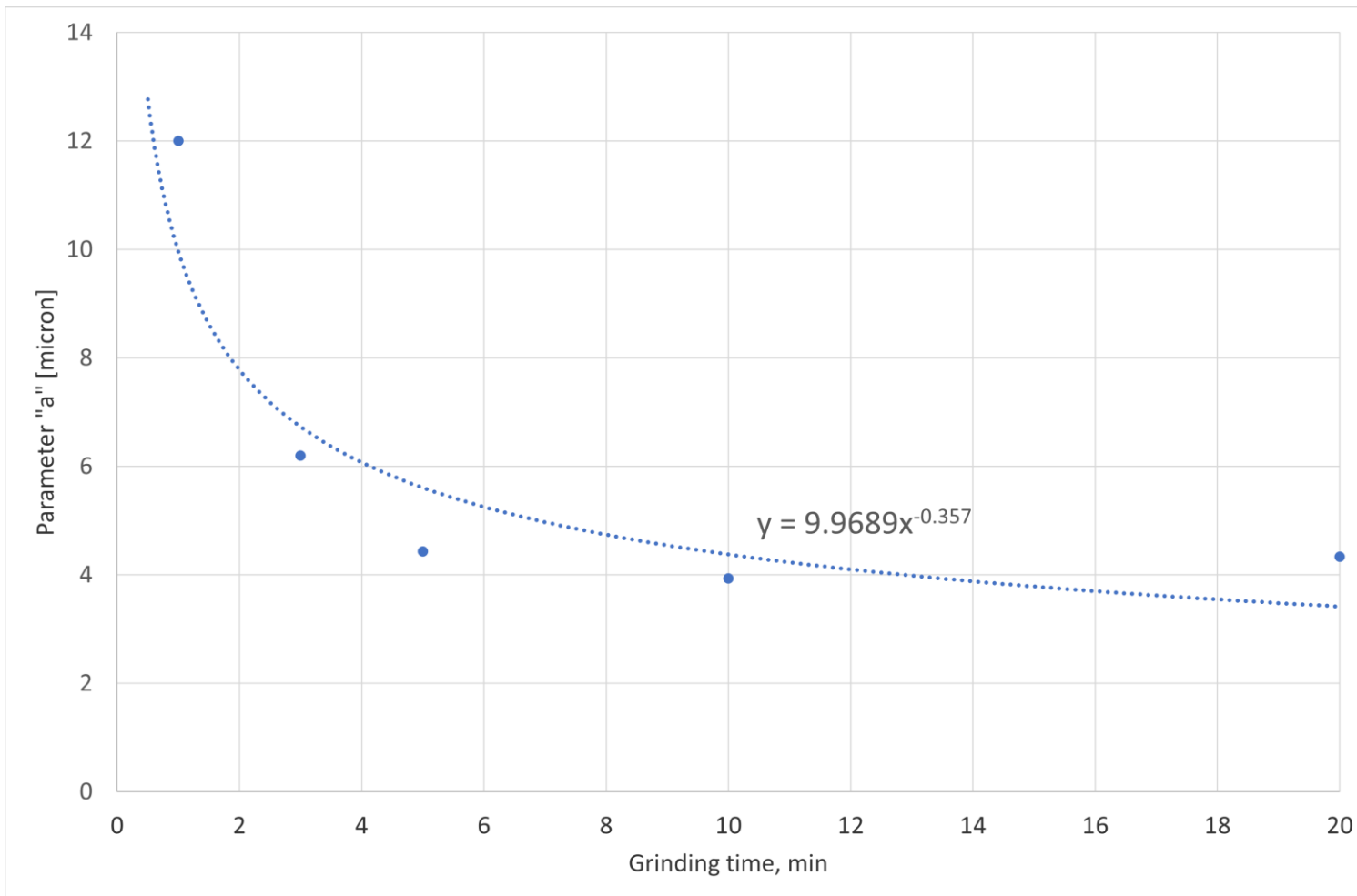
(1) egyenlet:

szemcseméret-eloszlás általánosan, ahol „a” paraméter az a szemcseméret, melynél az őrölt szemcsék 63,2%-a finomabb, „n” kitevő a szórás és „x” a relatív szemcseméret.

(2) egyenlet:

„n” kitevő meghatározása.

„A” PARAMÉTER ÉRTÉKEI AZ ŐRLÉSI IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN



- Amíg az „n” kitevő értéke közel lineárisan írható le, addig az „a” paraméter az őrlési idő növekedésével csökkenő tendenciát mutat.
- A paraméterek számított értékei:
 - $a = 4,252 \mu\text{m}$
 - $n = 1,098$.

$$F(x) = 100 \left[1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{4,252} \right)^{1,098} \right] \right]$$

ŐRLÉSI FINOMSÁG-FAJLAGOS ŐRLÉSI MUNKA FÜGGVÉNY

(JELÖLÉSEK: +MÉSZKŐ ▲ ANDEZIT ○ PUMICIT ×ÉRCBÁNYÁSZATI MEDDŐ)

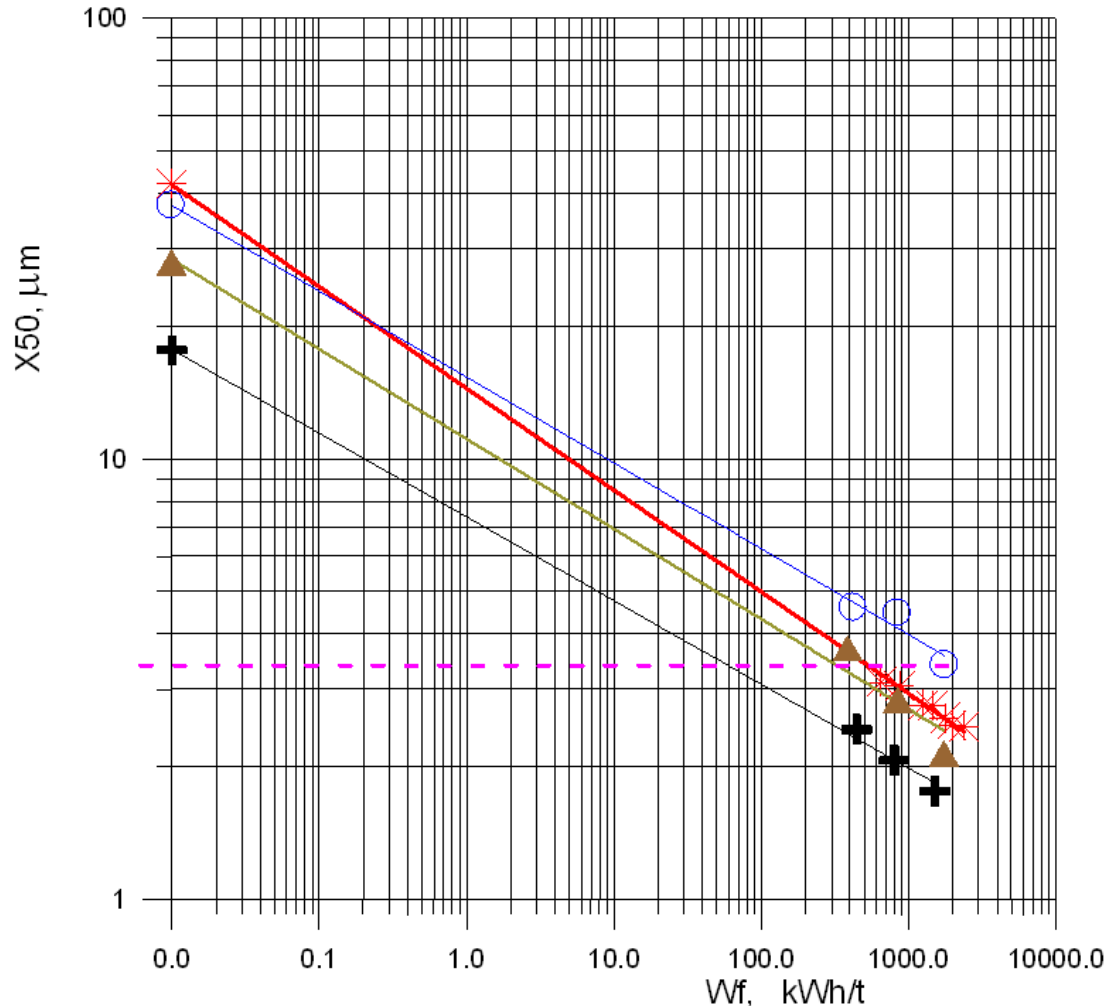


Fig.3 Relation between the grinding fineness and specific grinding work for several materials

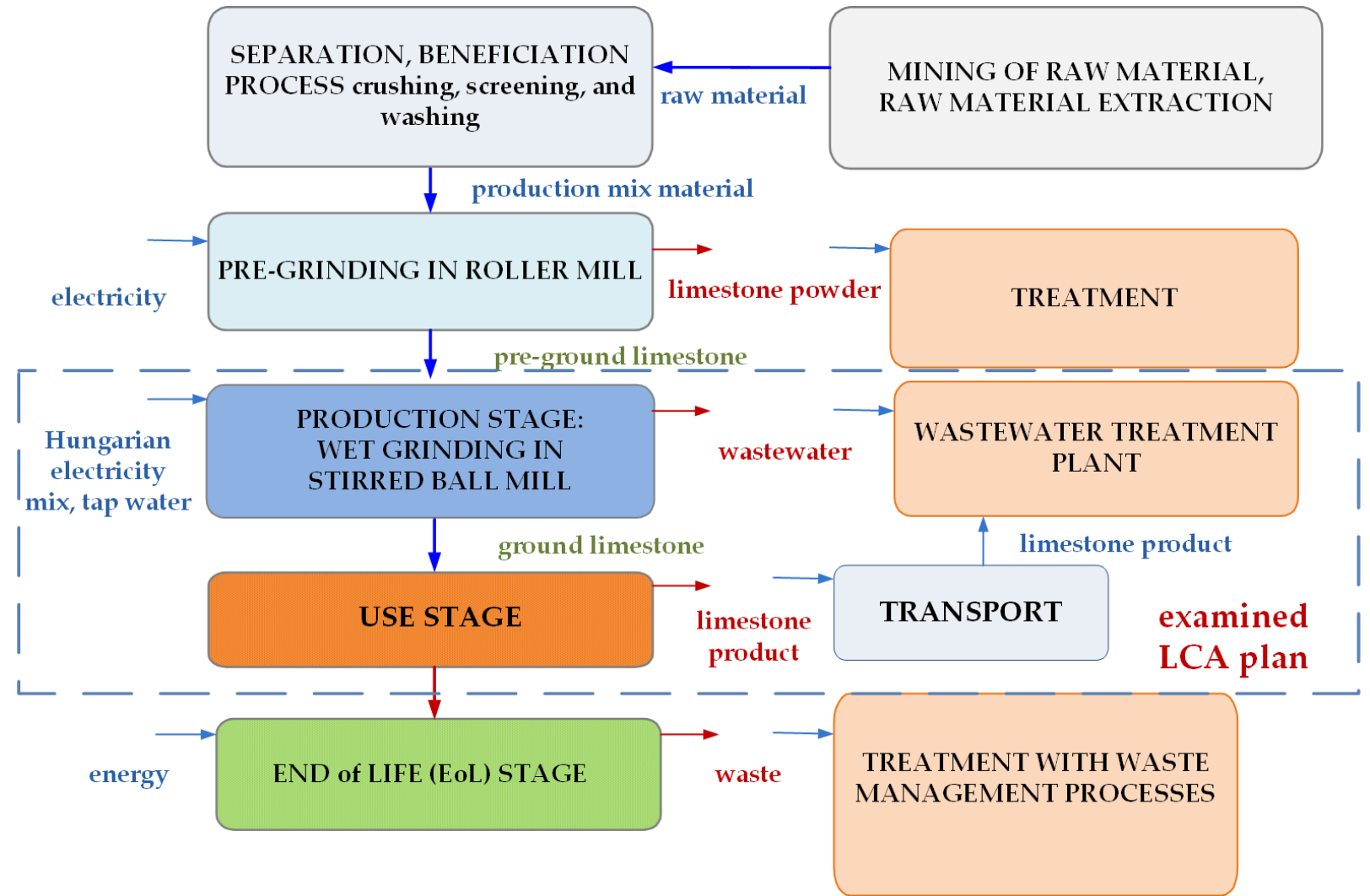
- Mész nedves őrlésére vonatkozóan az őrlési finomság-fajlagos őrlési munka kapcsolat az alábbi összefüggéssel írható le matematikailag:

$$x_{50} = \frac{7,38}{W_f^{0,19}}$$

- A mész jellemzésére egy őrölhetőségi indexszám bevezetése javasolt, melynek értéke (70% malomtöltési fok, 1.440 fordulat/min. és 20% szilárdanyag-tömegkoncentráció mellett).

$$C_{mix} = 7,38.$$

ÉLETCIKLUS-ÉRTÉKELÉSI MODELL MÉSZKŐ NEDVES ŐRLÉSÉRE

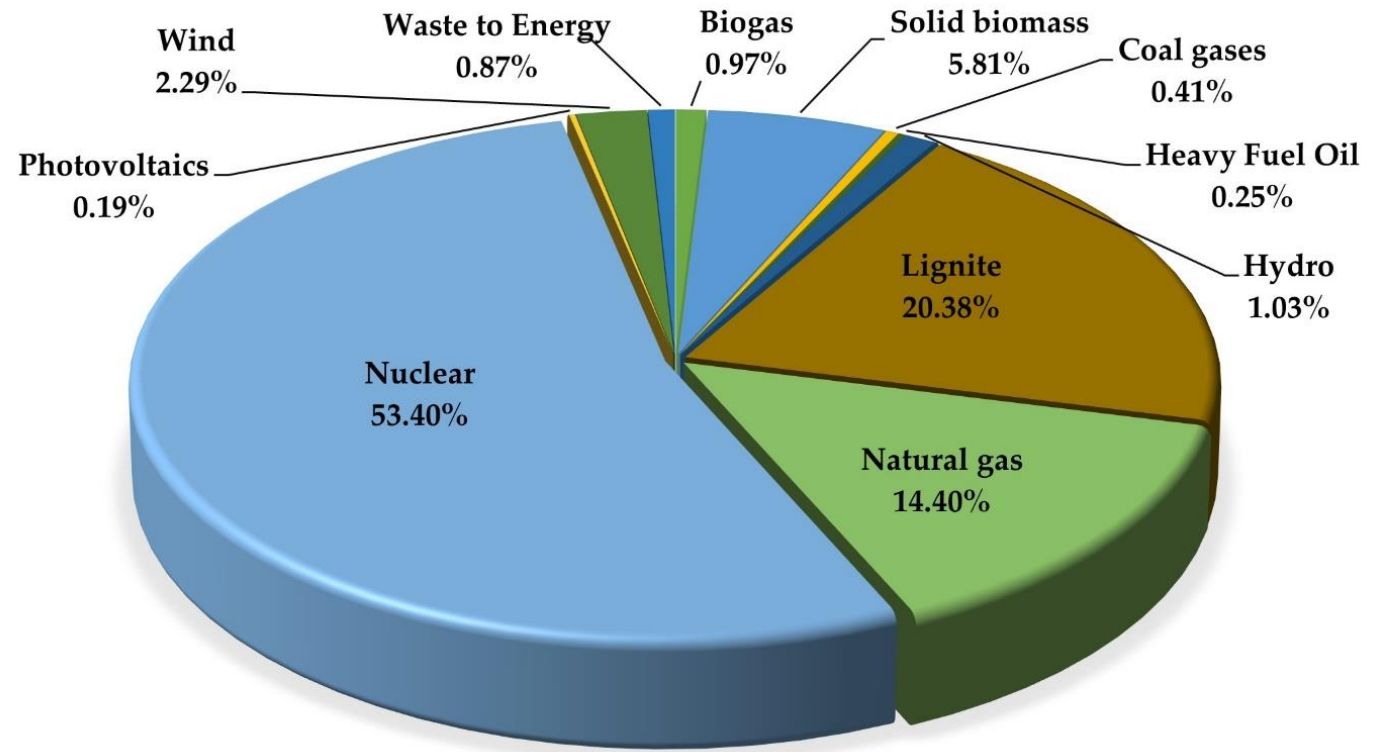


„CRADLE-TO-GATE” LIFE CYCLE ASSESSMENT

Ocean-going and inland ship transport as well as rail, truck and pipeline transport of bulk commodities are considered.

KUTATÁSI MÓDSZERTAN

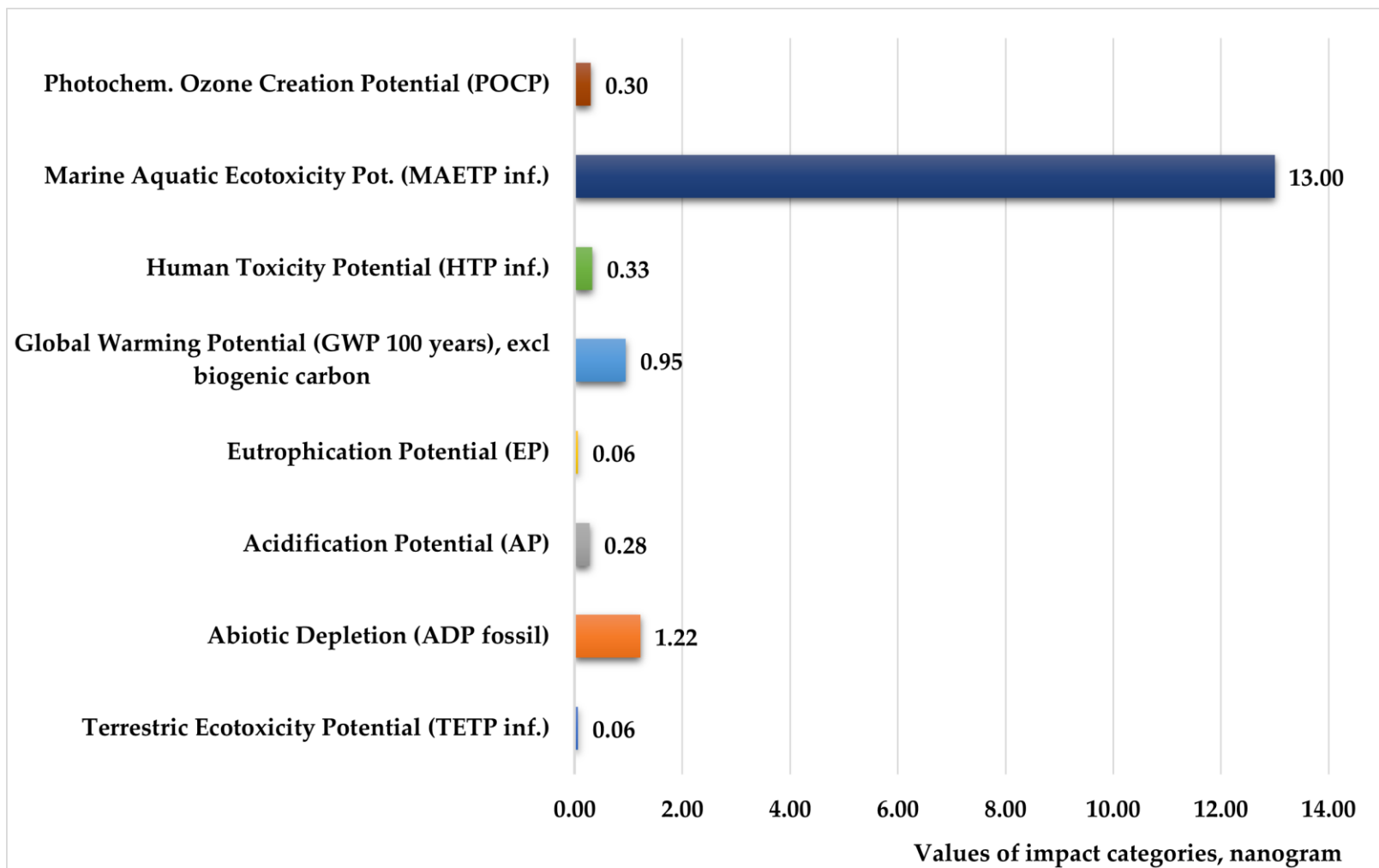
- A mészkő nedves őrléséhez az input-energia: 5,4 MJ.
- Hazai energiamix alkalmazása.
- A szennyvizet települési szennyvíztisztító telepen kezelik.
- Az őrölt mészkőterméket teherautóval szállítják el (Euro 6, EU-28 dízel keverék) felhasználásra.
- Feltételezett szállítási távolság: 100 km, kihasználtsági fok: 80%.



Energiamix, Magyarország (2018) (forrás: GaBi 8.0)

(képforrás: GaBi software)

LCA EREDMÉNYEK - FŐBB KÖRNYEZETI HATÁSKATEGÓRIÁK, NG



Normalizálási módszer:

CML 2016, EU 28, 2000. év, kivéve biogén szén

Súlyozási módszer:

CML 2016, EU, thinkstep LCIA felmérés 2012, kivéve biogén szén

Nedves őrlés LCA eredményei:

- A környezeti hatások relatív hozzájárulása 80%-ban a tengeri vízi ökotoxicitástól, 7,4%-ban a fosszilis abiotikus kimerüléstől, 5,9%-ban a globális felmelegedéstől, 2%-ban az emberi toxicitástól és 1,7%-ban a savasodástól származik.

ÚJ ENERGIA-LCA MODELL MEGHATÁROZÁSA MATEMATIKAI EGYENLETEKKEL I.

$$F(x) = 100 \left[1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{4,252} \right) \right] \right]^{1,098}$$

$$m_{xi} = m_p \cdot F(xi) = m_p \cdot \left[1 - \exp \left[- \left(\frac{xi}{a} \right) \right] \right]^n$$

$$Q_{xi} = \frac{m_{xi}}{t_r} = \frac{m_p \cdot F(xi)}{t_r} = \frac{m_p \cdot \left[1 - \exp \left[- \left(\frac{xi}{a} \right) \right] \right]^n}{t_r}$$

$$SEC_{xi} = \frac{EC}{m_{xi}} = \frac{Q_{xi}}{P}$$

- A (2) egyenlet a kívánt **m_{xi}** méretű termék tömegét, azaz a hasznos termék tömegét írja le a mézskőtermék becsült szemcseméret-eloszlásának ismeretében, ahol **m_p** az őrlési folyamat teljes output tömege.
- A (3) egyenlet a hasznos terméktömeg és őrlési idő (**t_r**) hányadosából megadja a hasznos termékre jutó **Q_{xi}** kapacitást (t/h értékben).
- A (4) egyenlet a hasznos termékre jutó fajlagos energiaszükségletet (**SEC_{xi}**) írja le (kWh/t értékben), ahol **EC** a teljes energiafelhasználás a teljes output tömegre (kWh) és **P** az átlagos teljesítményfelvétel.

Ha feltételezzük, hogy az LCA-ban a funkcionális egység az m_{xi} hasznos termék tömege (például csak 1,5 μm alatti mézskőszemcsék), azaz FU = m_{xi} - akkor modellezhetjük a környezeti hatások változását a hasznos termékre jutó SEC_{xi} fajlagos energiára.

ÚJ ENERGIA-LCA MODELL MEGHATÁROZÁSA MATEMATIKAI EGYENLETEKKEL II.

$$x_{50} = \frac{7,38}{W_f^{0,19}}$$

$$EC = W_f \cdot m_p = \sqrt[0,19]{\frac{C_{mix}}{x_{50}}} \cdot m_p = m_p \cdot \sqrt[0,19]{\frac{C_{mix}}{a \ln(2)^{\frac{1}{n}}}}$$

$$SEC_{xi} = \frac{EC}{m_{xi}} = \frac{m_p \cdot \sqrt[0,19]{\frac{C_{mix}}{a \ln(2)^{\frac{1}{n}}}}}{m_p \cdot F(xi)} = \frac{\sqrt[0,19]{\frac{C_{mix}}{a \ln(2)^{\frac{1}{n}}}}}{1 - \exp\left[-\left(\frac{xi}{a}\right)^n\right]}$$

- A teljes energiafelhasználást (EC) a mészkő nedves őrlésére már korábban felírt őrlési finomság-fajlagos őrlési munka függvényből származtatott fajlagos őrlési munka segítségével írhatjuk fel.

Az LCA eredményeiben megkaphatjuk a hasznos termék tömegére vonatkozó környezeti hatásokat a különböző fajlagos energiaszintekhez. Ehhez olyan közelítő függvényt is illeszthetünk, amellyel megkapjuk példaképpen a CO₂ kibocsátási potenciál/kg hasznos termék függvényt a fajlagos energia függvényében.

Az ultrafinom őrlés nagyon aktuális kutatási és fejlesztési terület számos iparágban, mely kutatási téma az Európai Unió versenyképességét segítheti. Az őrlési technológia értékelési modellje egyértelműen jelzi azokat a technológiai megoldásokat, amelyek megfelelnek a fenntartható fejlődés elvárásainak azáltal, hogy nagyobb energiahatékonyság mellett, kisebb környezeti terhelések lépnek fel.

Az életciklus-megközelítés jól alkalmazható mind száraz, mind pedig nedves őrlési folyamatokra. Az előállított primer energia értéke: 16,73 MJ (ebből 2,23 MJ megújuló energiaforrásokból származik). Emissziók tekintetében az édesvízbe történő kibocsátás a legmagasabb (56%).

A nedves őrlés LCA normalizált és súlyozott értékei azt mutatják, hogy a tengervízi ökototoxicitás (80%), az abiotikus fosszilis kimerülés (7,4%) és a globális felmelegedés (5,9%) a legérzékenyebb a környezetterhelésre. 1 kg mészke nedves őrlésének teljes környezeti terhelése 16,3 ng. A felhasznált alapanyagok típusa és tömege, az energiafelhasználás, valamint az őrlési paraméterek erősen befolyásolják a mészke termék környezeti hatását életciklusa során. A legnagyobb tömegarányú környezeti hatások a villamosenergia-felhasználásból és a mészke előkészítéséből/előőrléséből adódnak.

Ez a kutatómunka alapvetően egy új, még nem ismert energia-LCA modellt állít fel, ami lehetővé teszi az ipar számára azt, hogy előrejelzéseket készítsen üzemi őrlési folyamatokra az őrlőrendszerek energetikai és környezeti hatékonyságának javítása mellett. A jövőben fontossá válhat a felállított integrálási modell kombinálása/integrálása egy scale-up modellel.

Köszönöm szépen a figyelmet!

Mannheim Viktória, PhD
tudományos főmunkatárs

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar
Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

E-mail: viktoria.mannheim@uni-miskolc.hu

*Mannheim, V. and Kruszelnicka, W.
Energy-Model and Life Cycle-Model for Grinding Processes of Limestone Products.
Energies 2022, 15, 3816. <https://doi.org/10.3390/en15103816>.*



FACULTY OF
MECHANICAL ENGINEERING
AND INFORMATICS



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC