



OVĚŘENÁ TECHNOLOGIE

Technologie výroby humátů vícemocných kovů a stopových prvků

**RNDr. Jaromír Novák, CSc.
Ing. Josef Kozler, CSc.
Doc. Dr. Ing. Pavel Kuráň
Ing. Martina Trčková, Ph.D.
MVDr. Alena Lorencová, Ph.D.**

**4596
2016**

Ověřená technologie 4596/2016

Technologie výroby humátů vícemocných kovů a stopových prvků

Autoři:

RNDr. Jaromír Novák, CSc., MikroChem LKT spol. s r. o., Přeseke 52, 379 01 Třeboň

Ing. Josef Kozler, CSc., MikroChem LKT spol. s r. o., Přeseke 52, 379 01 Třeboň

Doc. Dr. Ing. Pavel Kuráň, MikroChem LKT spol. s r. o., Přeseke 52, 379 01 Třeboň

Ing. Martina Trčková, Ph.D., Výzkumný ústav veterinárního lékařství, v.v.i., Hudcova
296/70, 6210 00 Brno

MVDr. Alena Lorencová, Ph.D., Výzkumný ústav veterinárního lékařství, v.v.i., Hudcova
296/70, 6210 00 Brno

Ověřená technologie vznikla za podpory projektů Ministerstva zemědělství (QJ1210112 a
RO0516) a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy (LO1218) v rámci programu NPU I.

ISBN 978-80-86895-96-3

Obsah

Kapitola	Číslo stránky
1 Použité zkratky	3
2 Úvod	3
3 Návrh malotonážní technologie výroby humátu zinku a mědi z lignitu nebo oxyhumolitu	3
3.1 Suroviny	3
3.2 Popis technologie	4
3.3 Proudové schéma výroby	5
3.4 Strojně-technologické schéma	7
3.5 Návrh časového rozpisu pro jednu směnu a dvě šarže za směnu	10
3.6 Požadovaná analytická stanovení	10
4 Závěr	11
Příloha	12

1 Použité zkratky

HS	Huminové látky (Humic Substances)
FA	Fulvokyseliny nebo také fulvinové kyseliny (Fulvic Acids)
HA	Huminové kyseliny (Humic Acids)
HS _L	Loužitelné HS
HZn	Humát zinku
%	Hmotnostní procenta

2 Úvod

Cílem práce je připravit krmné doplňkové látky nebo veterinární přípravky pro zvířata. Práce využívá poznatků, že huminové látky (HS) a minerální látky příznivě působí na zdravotní stav a užitkovost zvířat. Jeví se jako účelné spojit tyto dvě složky, tedy vhodnou látku obsahující HS a sloučeninu zvoleného anorganického prvku, do jednoho přípravku. V takto vyrobeném přípravku může být anorganická látka vázaná na humátovou matici chemickou vazbou nebo sorpčními vazbami, může být též pouze mechanicky přimísená. Např. v případě výrobku s obsahem 7 % Zn se předpokládá, že 50 % Zn je vázáno chemickou vazbou. V případě výrobku s obsahem 0,1 % Cu je chemicky vázáno téměř 100 % Cu. Selenan sodný je na humátovou matici vázaný sorpčními silami. Výhodou takového přípravku je, že obě složky se při svém působení vzájemně podporují a že k uvolňování přidané anorganické složky v gastrointestinálním traktu zvířat bude docházet postupně.

3 Návrh malotonážní technologie výroby humátu zinku a mědi z lignitu nebo oxyhumolitu

3.1 Suroviny

Uhelné suroviny:

LIGNIT, druh LIGNOFERT

Dodavatelem uhelné suroviny bude Baňa Čáry, a. s., Slovenská republika.

OXYHUMOLIT

Dodavatelem bude Humatex, a. s., Bílina, Česká republika

ZnO, CuO

Dodavatelem bude vybraná firma zaměřená na čisté chemikálie.

Voda

Demineralizovaná voda. Upozornění: nesmí se používat chlorovaná voda.

3.2 Popis technologie

Navržená technologie pro výrobu humátu zinku (mědi) je jednoduchá a její provedení nemá žádná rizika.

Uhelná surovina – lignit (oxyhumolit) se částečně usuší na vzduchu tak, aby se snížil obsah vlhkosti na cca 25 %. Obsah vlhkosti je třeba snížit proto, aby při dalším zpracování nedocházelo k nalepování lignitu (oxyhumolitu) na výrobní zařízení a též aby se netvořily z lignitu (oxyhumolitu) granule, resp. aby nedocházelo k hrudkování. Pak se lignit (oxyhumolit) semele a vytřídí na požadovanou velikost částic a přimísí se požadované aditivum - ZnO (CuO). Po promísení lignitu (oxyhumolitu) se ZnO (CuO) se přidá takové množství vody, aby vlhkost výrobku dosáhla na cca 30 %. Voda se musí přidat proto, aby produkt obsahoval takové její množství, při kterém by mohlo docházet k iontové výměně a došlo k tvorbě humátu zinku. Před expedicí musí výrobek „zrát“, a to po dobu jednoho měsíce. Zrání může proběhnout i po zabalení výrobku.

V dalších kapitolách je podrobně rozvedená technologie pro výrobu humátu zinku z lignitu. Stejně bude probíhat i výroba humátu zinku z oxyhumolitu, chemické složení oxyhumolitu je velice blízké chemickému složení lignitu. Zcela analogicky lze připravovat humáty dalších kovů.

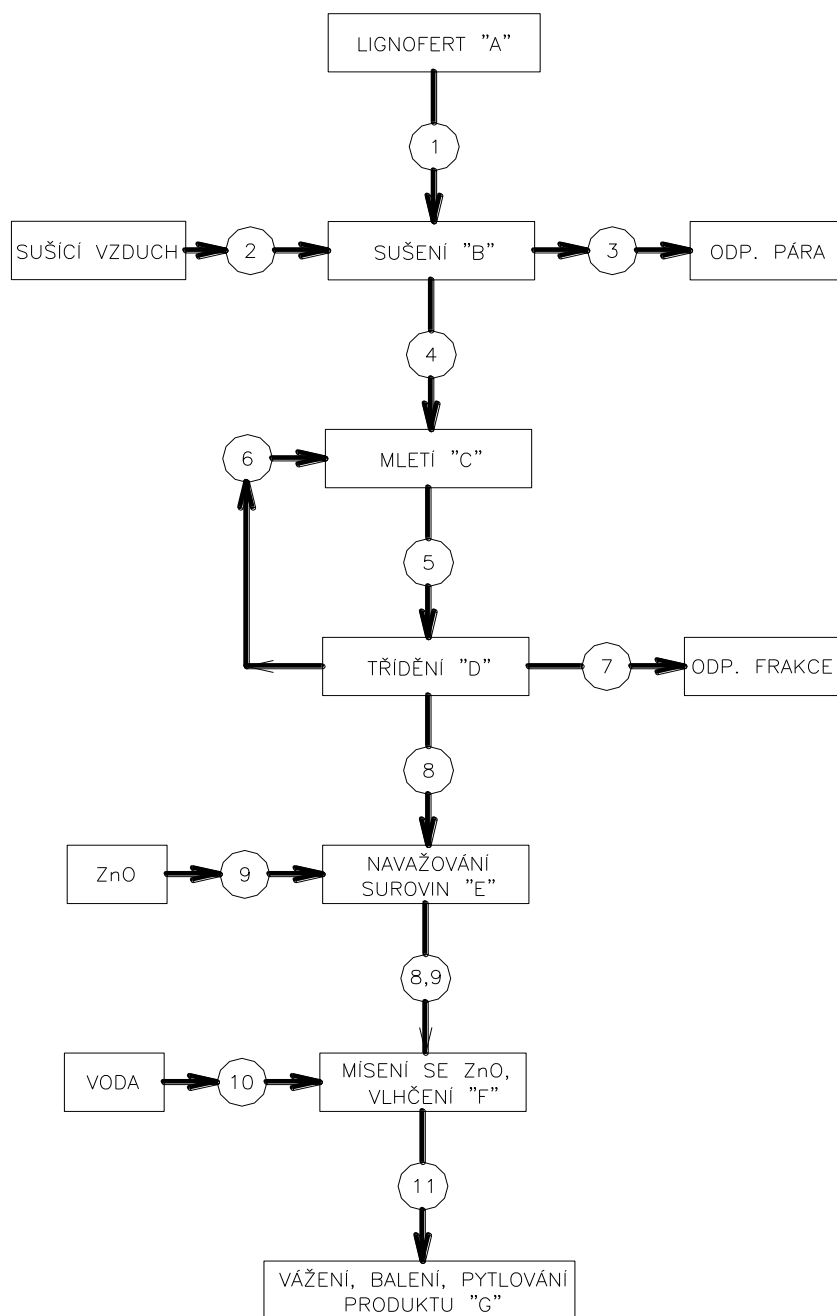
V laboratorním měřítku byl připraven humát mědi z Lignofertu a oxidu měďnatého. Protože požadavek na obsah Cu ve výrobku byl 0,1 %, bylo navážené množství CuO nejprve zhomogizováno s malým množstvím suroviny v třecí misce a pak byla tato směs smíchána s celým množstvím Lignofertu. Při průmyslovém provedení výroby humátu kovů, v nichž bude požadovaný obsah kovu ve výrobku nižší než 1 %, bude třeba požadované množství oxidu kovu (nebo jeho jiné sloučeniny) promísit s menším množstvím Lignofertu (oxyhumolitu) např. v kuchyňském mixéru.

Pro výrobu humátů Zn a Cu byl sestaven výpočetní formulář v programu Excel, pomocí něhož lze stanovit hmotnost proudů 8 až 11. Pro názornost byl program v Excelu převeden do Wordu a je v příloze této zprávy. Výpočet pro humát Cu je založen na stejných principech a je tedy analogický.

V laboratorním měřítku by připraven i humát s obsahem 0,01 % Se. Jako surovina selenu byl použit $\text{Na}_2\text{SeO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, který byl přidán v roztoku s použitím části vody určené k vlhčení výrobku.

Vzhledem k malému množství přidaného $\text{Na}_2\text{SeO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ je ovlivnění celkové hmotnostní bilance zanedbatelné.

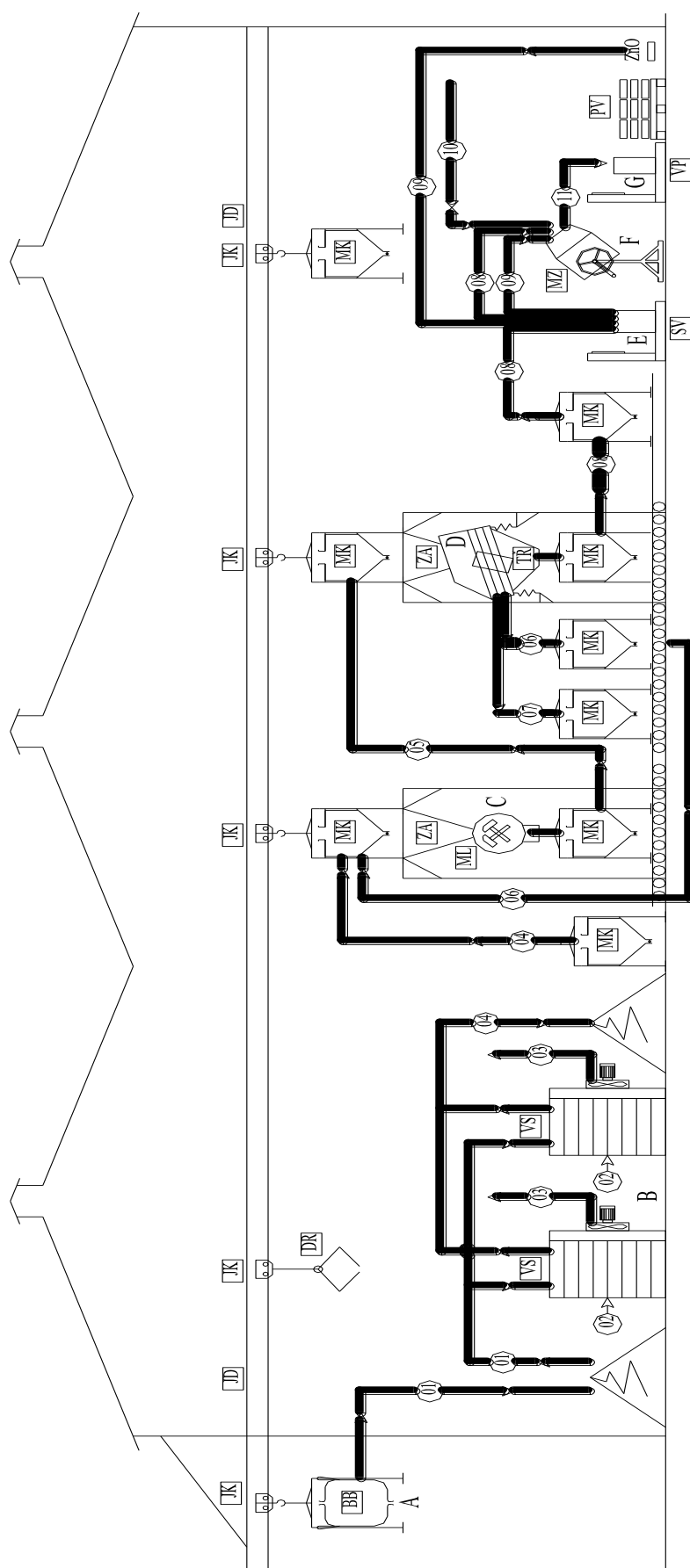
3.3 Proudové schéma výroby



Výroba lignitu se zinkem, hmotnostní bilance a složení proudů

Číslo proudů	Popis	Množství kg
1	Lignofert (dle výrobce se jedná o jemně mletý lignit) Složení a vlastnosti: organická hmota v sušině 71 %; popel v sušině 29 %; voda v původním vzorku v rozmezí 30 až 45 % (pro hmotnostní bilanci je uvažována nejvyšší hodnota, tedy 45 %). Sypná hmotnost: 600 kg/m ³ , velikost částic není udána.	Celkem: 35,8 Sušina: 19,7 Voda: 16,1
2	Vzduch na sušení Lignofertu	Není určeno
3	Vzduch s vodou z Lignofertu	Vzduch: není určeno Voda: 9,1
4	Lignofert se sníženým obsahem vody Složení a vlastnosti: Obsah sušiny 75,2 %, obsah vody 24,8 %, organická hmota v sušině 71 %; popel v sušině 29 %; Sypná hmotnost: 600 kg/m ³ , velikost částic není udána.	Celkem: 26,2 Sušina: 19,7 Voda: 6,5
5	Semletý Lignofert Složení a vlastnosti: organická hmota v sušině 71 %; popel v sušině 29 %; Sypná hmotnost: 600 kg/m ³ , velikost částic není udána.	Není vyčísleno
6	Nadsítný podíl z třídění I, recykl Velikost částic: 1,6 mm – 5 mm	Není vyčísleno
7	Nadsítný podíl z třídění II, odpad Velikost částic: >5 mm	5 % z proudů č. 4 Celkem: 1,3 kg
8	Vytříděný Lignofert do dalšího zpracování Složení a vlastnosti: organická hmota v sušině 71 %; popel v sušině 29 %; Sypná hmotnost: 600 kg/m ³ , velikost částic <1,6 mm.	Celkem: 24,9 Sušina: 18,7 Voda: 6,2
9	ZnO	Celkem: ZnO 2,61
10	Voda na vlhčení výrobku Pitná voda	Celkem: H ₂ O 2,49
11	Lignit se zinkem	Celkem: Lignit (sušina) 18,9 Zn 2,1 Voda 9,0

3.4 Strojně-technologické schéma



LEGENDA VÝROBNÍCH OPERACÍ

- A - navážení Lignofertu
- B - sušení
- C - mletí
- D - třídění
- E - navažování surovin
- F - mísení se ZnO, vlhčení
- G - vážení, balení, pytlování produktu

LEGENDA PROUDŮ

- 01 - Lignofert surový
- 02 - Vzduch na sušení lignofertu
- 03 - Vzduch s vodou ze sušení lignofertu
- 04 - Lignofert se sníženým obsahem vody
- 05 - Semletý lignofert
- 06 - Nadsítný podíl z třídění I, recykl
- 07 - Nadsítný podíl z třídění II, odpad
- 08 - Vytříděný lignofert k dalšímu zpracování
- 09 - ZnO
- 10 - Voda na vlhčení výrobku
- 11 - Lignit se zinkem

LEGENDA ZAŘÍZENÍ

- BB - Big-Bag
- JD - Jeřábová drážka
- JK - Jeřábová kočka
- DR - Drapák
- VS - Vzduchová sušárna (1-n kusů)
- MK - Mobilní kontejner
- ZA - Zásobník
- ML - Mlýn
- TŘ – Třidič
- SV - Surovinová váha
- MZ - Míchací zařízení
- VP - Váha produktu
- PV - Paleta výrobků
- ZnO - Oxid zinečnatý v pytlích

Podrobný popis výrobních operací:

- A. Sklad nebo deponie. Lignofert bude dodáván volně ložený nebo v balení BIG-BAG.
- B. Dodaný lignit druh Lignofert obsahuje proměnlivé množství vody až cca 45 %. Pro další zpracování je třeba snížit obsah vody, aby při mletí, třídění a mísení se ZnO nedocházelo k nalepování materiálu na strojní zařízení. Aby nedocházelo k nežádoucí změně kvality HS je třeba sušení provést při teplotě do 40 °C. Obsah vody je třeba snížit na cca 25 %.
- Lignofert se bude sušit v lískové sušárně s nuceným dostatečně intenzivním prouděním vzduchu na podnosech z PE. Vzduch se nebude ohřívat a ani sušit. Sušit se budou současně 2 šarže, tj. $35,8 \text{ kg} \times 2 = 71,6 \text{ kg}$. Při sypné hmotnosti 600 kg.m^{-3} se jedná o objem cca 120 litrů. Při vrstvě 30 mm bude potřebná plocha podnosů $\sim 4 \text{ m}^2$. Předpokládaná doba sušení bude 24 hodin, v průběhu sušení bude třeba materiál 6krát prohrábnout.
- C. Mletí.
- D. Sítovačka. Frakce o velikosti částic $< 1,6 \text{ mm}$ bude přecházet do dalšího zpracování, frakce o velikosti částic $1,6 - 5,0 \text{ mm}$ se bude vracet zpět do mletí, frakce o velikosti částic $> 5 \text{ mm}$ je odpad a může se využít jako přídavek do kompostů.
- E. Navažování pevných surovin – semletý a vytříděný Lignofert, ZnO
- F. Mísení se ZnO a vlhčení se provede v „Univerzálním míchacím zařízení pro sypké hmoty“. ZnO se bude dávkovat ručně, dávka se rozdělí na 4 dílčí dávky, které se vpraví do míchacího zařízení při jeho zastavení vždy po 5 minutách. Po přidání poslední dávky se bude míchat 15 minut, pak se začne přidávat voda z děličky, a to stejnoměrně po dobu 25 minut. Voda se bude přidávat z kalibrované skleněné děličky. Přidá se takové množství vody, aby její obsah v produktu byl cca 30 %. Zvýšení obsahu vody je doporučeno proto, aby mohlo dojít k reakci ZnO s humátovou maticí. Po ukončení přidávání vody se směs míchá 30 minut.

Časový snímek operace F:

Dávka lignofertu	Dávkování ZnO	Míchání	Dávkování vody	Míchání	Vyprázdnění bubnu
10 minut	15 minut	15 minut	20 minut	30 minut	10 minut

Celková doba operace v míchacím zařízení bude 1 hodina a 40 minut.

- G. Vážení, balení, pytlování produktu.

3.5 Návrh časového rozpisu pro jednu směnu a dvě šarže za směnu

V tabulce jsou uvedeny potřebné časy na práci obsluhy. Nejedná se o trvání jednotlivých operací.

Označení operace	Název	Potřeba času hodiny
B	Sušení	0:40
C, D	Mletí, třídění	2:00
E	Navažování surovin	0:20
F	Mísení se ZnO, vlhčení	3:20
G	Vážení, balení, pytlování produktu	0:40
	Úklid	0:30
	Přestávka	0:30
	Celkem	8:00

Při fondu pracovní doby 220 dní/rok bude vyrobené množství 13,2 tuny při jednosměnném provozu.

3.6 Požadovaná analytická stanovení

Číslo proudu	Stanovení
1	Lignofert (oxyhumolit) Sušina Obsah vody Obsah organické fáze výpočtem H _{SL} Složení anorganického podílu
4	Lignofert se sníženým obsahem vody Sušina Obsah vody
8	Vytříděný Lignofert do dalšího zpracování Sušina Obsah vody
11	Lignit se zinkem Složení do příbalového letáku pro odběratele se určí výpočtem

4 Závěr

Navržená technologie je univerzální a je vhodná pro přípravu výrobků se všemi vhodnými prvky (minerální látky, makroelementy, mikroelementy, stopové prvky) ať už jednotlivě nebo v kombinacích. Uhlé suroviny, lignit nebo oxyhumolit, lze mísit s pevnými substancemi obsahujícími požadované prvky nebo mohou být tyto substance přidávány v roztocích. Pokud by požadované prvky byly ve formě iontových solí (např. jako sírany), bylo by vhodné množství kyselého aniontu kompenzovat ekvivalentním přídavkem vápníku nejlépe ve formě CaO nebo Ca(OH)₂. Prvky jsou vázány na humátovou matici chemicky nebo chemisorpcí. Navržené strojné technologické schéma umožní výstavbu linky na výrobu bez dalšího doplňování. Detaily budou závislé na podmínkách realizátora.

Příloha

Výpočet hmotnostní bilance výroby aditiv do krmiv na bázi HS

Výpočet dávkování lignitu (oxyhumolitu), oxidu zinečnatého a vody pro přípravu humátového preparátu obohaceného zinkem je založený na sestavení a výpočtu bilančních rovnic pro jednotlivé hmotnostní proudy.

Seznam symbolů a zkratk:

m_P	hmotnost produktu
m_L	hmotnost dávky vlhkého lignitu (oxyhumolitu)
m_{L_S}	hmotnost sušiny lignitu (oxyhumolitu)
m_{ZnO_D}	hmotnost dávky ZnO
m_{Zn_ZnO}	hmotnost Zn v dávce ZnO
m_{ZnO_P}	hmotnost ZnO v produktu
m_{Zn_P}	hmotnost Zn v produktu
m_{Zn}	hmotnost Zn vázaného v produktu
W_{Zn_ZnO}	obsah zinku v ZnO
W_{Zn_P}	obsah zinku v produktu
r	podíl reakce ZnO, kde $r \in (0; 1)$
$W_{Zn_ZnO} = M_{Zn} / M_{ZnO}$	
$m_{Zn_ZnO} = W_{Zn_ZnO} \cdot m_{ZnO_D}$	
$m_{H_2O_L}$	hmotnost vody v lignitu (oxyhumolitu)
$m_{H_2O_D}$	dávka vody
$m_{H_2O_R}$	hmotnost reakční vody
$m_{H_2O_P}$	hmotnost vody v produktu
$W_{H_2O_P}$	vlhkost produktu
$W_{H_2O_L}$	vlhkost lignitu (oxyhumolitu)
m_{O_P}	hmotnost O v nezreagovaném ZnO v produktu
m_{H_R}	hmotnost H z Lg (Oxh.) podílející se na reakci se ZnO
M_H	molekulová hmotnost vodíku
M_O	molekulová hmotnost kyslíku
M_{Zn}	molekulová hmotnost zinku
M_{ZnO}	molekulová hmotnost oxidu zinečnatého

Bilance základních hmotnostních toků v řešeném systému:

1. Bilance celková:

Hmotnost produktu **je rovna** součtu dávky Lg (Oxh), oxidu zinečnatého a vody:

$$m_P = m_L + m_{ZnO_D} + m_{H_2O_D}$$

2. Bilance zinku:

Hmotnost zinku v dávce oxidu zinečnatého **je rovna** hmotnosti zinku v produktu:

$$m_{Zn_ZnO} = m_{Zn_P}$$

3. Bilance vody:

Součet hmotnosti vody v lignitu, hmotnosti dávky vody a hmotnosti reakční vody **je roven** hmotnosti vody v produktu:

$$m_{H_2O_L} + m_{H_2O_D} + m_{H_2O_R} = m_{H_2O_P}$$

4. Balance Lg (Oxh):

Hmotnost sušiny Lg (Oxh) snižená o hmotnost zreagovaného vodíku z Lg (Oxh) **je rovna** hmotnosti produktu snižené o hmotnost zinku, vody a kyslíku (z nezreagované části ZnO):

$$m_{L_S} - m_{H_R} = m_P - m_{Zn_P} - m_{H_2O_P} - m_{O_P}$$

Do bilancí hmotn. toků byly dosazeny známé hodnoty zadávaných a naměřených parametrů (neznámé byly dále označeny *červeně*)

1. $m_P = m_L + m_{ZnO_D} + m_{H_2O_D}$
2. $w_{Zn_ZnO} \cdot m_{ZnO_D} = w_{Zn_P} \cdot m_P$
3. $w_{H_2O_L} \cdot m_L + m_{H_2O_D} + m_{H_2O_R} = w_{H_2O_P} \cdot m_P$
4. $(1 - w_{H_2O_L}) \cdot m_L - w_{Zn_P} \cdot m_P \cdot r / M_{Zn} \cdot (2 \cdot M_H) = (1 - w_{H_2O_P} - w_{Zn_P} - (1 - r) \cdot w_{Zn_P} / M_{Zn} \cdot M_O) \cdot m_P$
tj. $(1 - w_{H_2O_L}) \cdot m_L = (1 - w_{H_2O_P} - w_{Zn_P} - (1 - r) \cdot w_{Zn_P} / M_{Zn} \cdot M_O + w_{Zn_P} \cdot r / M_{Zn} \cdot (2 \cdot M_H)) \cdot m_P$

Soustavu rovnic 1. - 4. zjednodušíme následovně:

Za hmotnost vsádky Lg (Oxh) dosadíme zvolenou hodnotu $m_L = 100$ hmotn. jednotek.

Hmotn. reakční vody $m_{H_2O_R}$ vyjádříme pomocí vstup. dávky ZnO a podílu jeho zreagování:

$$m_{H_2O_R} = r \cdot m_{ZnO_D} \cdot M_{H_2O} / M_{ZnO}$$

a dosadíme do rovnice 3.

Potom soustava rovnic 1. - 4. přejde na soustavu čtyř rovnic o třech neznámých

1. $100 = m_P - m_{ZnO_D} - m_{H_2O_D}$
2. $m_{ZnO_D} = w_{Zn_P} \cdot m_P / w_{Zn_ZnO}$
3. $m_{H_2O_D} = w_{H_2O_P} \cdot m_P - w_{H_2O_L} \cdot 100 - r \cdot m_{ZnO_D} \cdot (M_{H_2O} / M_{ZnO})$
4. $m_P = (1 - w_{H_2O_L}) \cdot 100 / (1 - w_{H_2O_P} - w_{Zn_P} - (1 - r) \cdot w_{Zn_P} / M_{Zn} \cdot M_O + w_{Zn_P} \cdot r / M_{Zn} \cdot (2 \cdot M_H))$

Postup výpočtu soustavy rovnic:

Výpočet byl proveden pro zvolenou vstupní hmotnost Lg (Oxh) $m_L = 100$ hmotn. jednotek postupně z bilančních rovnic 4., 2., 3. a 1. takto:

- a) Z rovnice 4. je vypočtena první neznámá - hmotnost produktu m_P .
- b) Vypočtená hmotnost produktu je dosazena do rovnice 2. a následně je vypočtena druhá neznámá - hmotnost dávky ZnO (m_{ZnO_D}).
- c) Hmotnost reakční vody $m_{H_2O_R}$ byla vyjádřena a vypočtena z hmotnosti dávky ZnO a podílu zreagování ZnO ve směsi a dosazena do rovnice 3.
- d) Vypočtené hmotnosti produktu, vstupní dávky ZnO a vody ze vstupní suroviny Lg (Oxh) byly dosazeny do rovnice 3. a následně byla vypočtena třetí neznámá - hmotnost dávky vody $m_{H_2O_D}$.
- e) Dosazením vypočtených hmotností produktu, dávky ZnO a dávky vody do rovnice 1. byla provedena **kontrola správnosti výpočtu**.

Závěrečný přepočít modelového výpočtu na výpočet reálný:

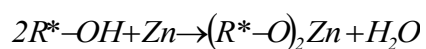
Pro výpočet skutečných hmotn. toků systému byly všechny toky modelové (vypočtené pro $m_L = 100$ hmotn. jedn.) vynásobeny přepočítavacím koeficientem k definovaným dle vztahu:

$$k = m_P (\text{požadavek}) / m_P (\text{pro } m_L=100)$$

Vlastní výpočet je zpracován pro program Excel a je ke zprávě přiložen na DVD.

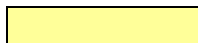
Zadání:	Hmotnost	m [kg]
	Produkt =	4615,80
	Parametry produktu	w
	Obsah H ₂ O =	35,00%
	Obsah Zn =	4,55%
	Podíl reakce =	50,00%
	Vlhkost Lg (Oxh) =	15,00%

Pozn.: uvažovaná reakce vstupních složek



kde R^*-OH je akt. místo Lg (Oxh) se skupinou $-OH$

Měnitelné buňky



Vstupní dávky - přehled sledovaných složek					
Souhrn			Detailně		
Složka	m [kg]	w [%]	Složka	m [kg]	w [%]
Lg (Oxh)	3256,24	70,55%	Lg (Oxh)_sušina	2767,80	59,96%
ZnO	261,39	5,66%	ZnO	261,39	5,66%
Voda_dávka	1098,17	23,79%	H ₂ O_Dávka	1098,17	23,79%
			H ₂ O_Lg (Oxh)	488,44	10,58%
	4615,80	100,00%		4615,80	100,00%

Produkt - přehled sledovaných složek					
Souhrn			Detailně		
Složka	m [kg]	w [%]	Složka	m [kg]	w [%]
Lg (Oxh)_suš.*	2790,25	60,45%	Zn vázaný	105,01	2,28%
Zn	210,02	4,55%	ZnO	130,70	2,83%
H ₂ O	1615,53	35,00%	H ₂ O Dávka	1098,17	23,79%
			H ₂ O Lg (Oxh)	488,44	10,58%
			H ₂ O Reakč.	28,92	0,63%
			Lg (Oxh)_suš.**	2764,57	59,89%
			(- reakč. H)		
	4615,80	100,00%		4615,80	100,00%

Lg bez reakčního H včetně O z nezreg.

(Oxh)_suš.* ZnO

Lg

(Oxh)_suš.** bez reakčního H

Požadovaná hmotnost produktu =	4615,80
K (koef. na požad. hmotnost) =	32,56

Výpočet na 100 kg lignitu (oxyhumolitu)

<i>Vsádka Lg (Oxh) =</i>	<i>100,00</i>	<i>Obsah H₂O =</i>	<i>0,35</i>
<i>Sušina Lg (Oxh) =</i>	<i>85,00</i>	<i>Obsah Zn =</i>	<i>0,05</i>
<i>Voda Lg (Oxh) =</i>	<i>15,00</i>	<i>Podíl reakce =</i>	<i>0,50</i>
Produkt =	141,75	<i>Vlhkost Lg (Oxh) =</i>	<i>0,15</i>
<i>Vsádka ZnO =</i>	<i>8,03</i>		
<i>Dávka H₂O =</i>	<i>33,73</i>		
<i>Reakční H₂O =</i>	<i>0,89</i>		
<i>Reakční H =</i>	<i>0,10</i>		
<i>Nezreag. O ze ZnO v produktu =</i>	<i>0,79</i>		
<i>m_O v ZnO v prod. (bez reakce) =</i>	<i>1,58</i>		

Použité molekulové hmotnosti:

M (O)	15,9994
M (H)	1,0079
M(Zn)	65,4090
M(ZnO)	81,4084
M(H ₂ O)	18,0153

Kontrola:

Produkt - Vsádky (Lg.;Oxh.+ZnO+H₂O) = 0,0

	Vstup	Rozdíl	Výstup
ZnO	8,03	-4,01	4,01
Zn vázaný		3,22	3,22
Lg (Oxh) suš.	85,00	-0,10	84,90
Voda Lg (Oxh)	15,00	0,00	15,00
Voda Dávka	33,73	0,00	33,73
Voda Reakce		0,89	0,89
Celkem	141,75	0,00	141,75

Programy v Excelu jsou k dispozici u prvního autora zprávy v elektronické podobě.