

# Lignocelulóзовé materiály ako surovina pre biotechnológie

Prof. Ing. ANTON BLAŽEJ, DrSc., Ing. IVAN ŠPILDA, CSc. Ústav biotechnológie SVŠT, Bratislava

**Kľúčové slová:** *biotechnológie, suroviny, fytomasa, drevo, cukor, škrob, hydrolýza, ekonómia, perspektívy*

V širších súvislostiach môžeme biotechnológie definovať ako metódy aplikácie vedeckých a technických princípov pri spracovaní surovín biologickými postupmi na získanie výrobkov a služieb, ktoré sa vyznačujú inováciami biotechnickej, ekonomickej a sociálnej povahy v ich vzájomných súvislostiach.

Z hľadiska výroby sú biotechnológie orientované na produkciu bunečnej hmoty (mikroorganizmov, rastlín, živočíchov) a na spracovanie biomasy (hlavne rastlinného pôvodu — fytomasy). Stávajú sa dôležité v poľnohospodárstve, vo farmaceutickom priemysle a prenikajú aj do chemického priemyslu, hlavne na úseku špeciálnych chemických výrob.

## 1. SUROVINOVÁ ZÁKLADNA BIOTECHNOLÓGIE

Mikroorganizmy vyžadujú k svojmu metabolizmu dostatok potravy v potrebnej elementárnej skladbe, a to ako pre budovanie vlastného organizmu, tak aj ako zdroj energie vlastných životných procesov. Mikroorganizmov je nesmierne množstvo druhov a spravidla sú úzko špecializované na určité špecifické látky, ktoré premieňajú na iné zlúčeniny s uvoľnením energie, nutnej pre ich existenciu.

V zásade mikroorganizmy potrebujú pre stavbu svojho tela základné prvky — uhlík, dusík, fosfor, draslík, kyslík a vodík. Základnou látkou, ktorú mikroorganizmy spotrebávajú a ktorej spracovaním získavajú potrebnú energiu, je najčastejšie hmota biologického pôvodu.

Základnou surovinou pre biotechnologické procesy je vždy taká zlúčenina alebo hmota, ktorá obsahuje poten-

ciálne uvoľnitelnú energiu. Doplňujúcimi surovinami sú látky [napr. anorganické soli], obsahujúce metabolicky potrebné prvky.

Z týchto hľadísk rozdeľujeme zdroje základných surovín:

a) **Anorganické suroviny** [oxidovateľné rudy i nerudné zlúčeniny a prvky]. Tieto neprichádzajú do úvahy. Len malý počet mikroorganizmov je špecializovaných na získavanie svojej životnej energie z týchto zdrojov.

b) **Fosilné uhľikaté suroviny** [uhlie, ropa, plyn]. Chemicky nespracovávané uhlie je nepoužiteľné, ale zlúčeniny na jeho základe, ako metán, metanol, etanol a pod. by mohli slúžiť ako základné surovinové zdroje. Z ropy sú použiteľné niektoré frakcie, napr. parafíny, n-alkány. Rovnako sú použiteľné produkty chemického spracovania ropy — metanol, etanol, vyššie alkoholy, kyseliny, aldehydy a pod. Zemný plyn obsahuje vysoké percento metánu, ktorý môže byť použitý bezprostredne ako základná surovina pre biotechnológie. Ide o zatiaľ málo prepracovaný smer biosyntézy. Podľa zahraničných údajov z 1 tony metánu je možné vyprodukovať cca 1/2 tony mikrobiálnej hmoty s vysokým obsahom proteínov.

c) **Biomasa spracovaná na zložky alebo i nerozdeľovaná**. K najmasovejším a potenciálne najzaujímavejším surovinám patria lignocelulóзовé materiály — drevná hmota [lesný odpad a odpad z celulózok], slama, kukuričné palice a iná organická hmota z rastlinnej produkcie, zvyšky fermentačných výrob, zberový papier atď. Celulózu je možné rozštiepiť až na základné cukry, ktoré sú vynikajúcou surovinou pre biotechnologické



procesy. Proces frakcionácie fyto-masy na základné zložky nie je napriek dlhoročnému úsiliu uspokojivo zvládnut, aj keď vo svete boli už zaznamenané významné úspechy. Lignocelulózové suroviny je nutné považovať za základný surovinový zdroj biotechnológií a ich všestrannému využitiu je nutné venovať principiálnu pozornosť. Rezervou sú tiež možnosti podstatného zvýšenia produkcie fyto-masy cestou agrotechnických, genové manipulačných a organizačných opatrení.

Ďalším obnoviteľným zdrojom je fyto-masa, obsahujúca škrob — hlavne zemiaky a obilie. Škrob je ľahšie štiepateľný na základné cukry ako celulóza.

Zdrojov škrobových látok je u nás značné množstvo (radove milióny ton), ale ich využitie v potravinárskej a živočíšnej výrobe ovieľa intenzívnejšie. Ich cena je relatívne vysoká a dostupnosť obmedzená. V najbližšom období však bude nutné s týmito škrobovinami počítat ako s významným surovinovým zdrojom pre biotechnologický priemysel.

Zvláštne miesto v našich podmienkach má repný cukor — sacharóza a tiež poloprodukty obsahujúce sacharózu (melasa, kukurné šťavy). Naša produkcia repného cukru je relatívne vysoká a jeho cena na svetovom trhu veľmi nízka. Je veľmi vhodnou surovinou pre biotechnológiu, ale ekonomicky nebude použitie sacharózy v dlhodobom časovom priereze únosné. Náklady na pestovanie cukrovky a jej cukrovarnícke spracovanie silne zatažujú túto atraktívnu surovinu pre biotechnológiu. Dlhodobe sa dá uvažovať so sacharózou len na malotónážne syntézy vysoko atraktívnych a drahých produktov.

Tab. 1. Porovnanie ceny uhlíka z rôznych zdrojov v ČSSR

Surovina	Obsah uhlíka [%]	ŠVC (1985) [Kčs.kg <sup>-1</sup> ]	Relatívna cena 1 kg uhlíka [Kčs]	Biotechnologická využiteľnosť
<b>Chémia</b>				
— etylén	85,7	5,80	6,54	—
— propylén	85,7	4,20	4,90	—
— etanol	52,1	5,50	10,55	priamo
— metanol	37,5	2,40	6,40	priamo
— butanol	64,8	10,0	15,43	čiastočne
<b>Poľnohospodárstvo</b>				
— repný cukor	40	6,92	17,30	priamo
— melasa	29	1,62	5,58	priamo
— škrob kukuričný	40	5,22	13,05	po hydrolýze
— škrob pšeničný	40	6,76	16,90	po hydrolýze
— škrob zemiakový	40	8,70	21,75	po hydrolýze
<b>Drevo a</b>				
— drevný odpad a) 50	0,25—0,50	0,50—1,00	po hydrolýze	
— lesná štiepka b) 50	0,40—0,80	0,80—1,60	po hydrolýze	
<b>Odpady</b>				
— zberový papier 40—50	1,40	3,15—3,50	po úprave a hydrolýze	
— sulfíťový výluh 45—50	0,7—0,9	1,30—1,80	—	

a) vzduchосуšie drevo 1 m<sup>3</sup> = 210,— Kčs  
b) štiepka 1 m<sup>3</sup> = 260,— až 500,— Kčs

Pre porovnanie je v tab. 1 uvedený prehľad rôznych uhlíkatých surovín, ktoré (po príslušnej úprave) by bolo možné využiť v biotechnologických výrobách. Z uvedeného prehľadu vyplýva, že v súčasnosti ekonomicky najdostupnejšími zdrojmi uhlíka sú metanol a melasa. Ceny uhlíka z lignocelulózových zdrojov sú ešte nižšie, ale tieto na rozdiel od surovín z chemických výrobní nemajú zahrnutú položku potrebnú na ich konverziu do biotechnologicky využiteľnej formy. V tejto súvislosti tieto ceny ilustrujú rozdiely, ktoré by mohli byť významným faktorom v ekonomike využitia zdrojov pre biotechnológiu.

## 2. LIGNOCELULÓZOVÉ SUROVINY A ICH VYUŽITIE V ČSSR

Lignocelulózové materiály, súhrnne označované ako fyto-masa, zabezpečujú surovinové tieto odvetvia československého hospodárstva (poradie podľa priority):

- výroba potravín,
- výroba krmovín,
- výroba nábytku,
- výroba vlákien (papieru) a celulóзовých vlákien,
- stavebný a konštrukčný materiál,
- palivové drevo,
- organická hnojivá.

Pre tieto účely sa využíva podstatná časť bilancovaných zdrojov fyto-masy.

Z hľadiska priemyselnej suroviny fyto-masu môžeme považovať za objemný a vlhký substrát, ktorého energetický obsah suroviny dosahuje hodnotu cca 60 % energie uhlia. Je potrebné zdôrazniť, že z hľadiska energetickej bilancie nemôžeme v ČSSR považovať fyto-masu ako prostriedok pre riešenie energetických problémov.

Pre maximálne využitie potenciálu fyto-masy musíme jej využitie orientovať na hlavné, prioritné oblasti, ktoré fyto-masa zabezpečuje, t.j. na výrobu potravín a krmovín. Pri jej konverzii na žiaduce produkty by sa mali uplatniť hlavne biochemické technológie.

**Zdroje lignocelulózových materiálov** — fyto-masy sú ako z oblasti lesného hospodárstva, tak aj z poľnohospodárstva. Prehľad o týchto zdrojoch je uvedený v tab. 2. Všetky tieto zdroje sú bilancované a nachádzajú svoje využitie v príslušnom odvetví. Nedostatočne je využívaná časť priemyselného drevného odpadu, kde sa odhaduje, že v horizonte do r. 2005 môže byť k dispozícii min. 200 tis. m<sup>3</sup> drevného odpadu. Nevyjasnená zostáva tiež otázka využitia lesných štiepok, kde sa odhaduje, že aj pri vzrastajúcom trende výroby lesných štiepok, ich časť zostane nevyužitá.

Tab. 2. Prehľad o zdrojoch lignocelulózových materiálov v ČSSR

Surovina	Cena (1985) [Kčs jedn. - <sup>1</sup> ]	Zdroje v ČSSR [tis. m <sup>3</sup> ]				Využitie zdrojov v r. 1985
		1986	1990	1995	2005	
Drevo ihličnaté (v tis. m <sup>3</sup> )	278 Kčs . m <sup>-3</sup>	13 557	13 255	13 275	13 255	energia 5% priemysel 95%
Drevo listnaté (v tis. m <sup>3</sup> )	336 Kčs . m <sup>-3</sup>	4 660	4 544	3 849	3 849	priemysel 36% energia 14%
Priemyslový drevný odpad (v tis. m <sup>3</sup> )	210 Kčs . m <sup>-3</sup>	4 080	4 000	4 000	4 000	priemysel 30% energia 40%
Lesný drevný odpad - štiepka (v tis. m <sup>3</sup> )	240 Kčs . m <sup>-3</sup>	250	400	640	780	priemysel 16% energia 26% nevyužitá 56%
Slama (tis. t)	450 Kčs . t <sup>-1</sup>	8 880	9 040	9 300	9 500	poľnohosp. 100%
Zberový papier (tis. t)	1200 Kčs . t <sup>-1</sup>	490	540	600	700	priemysel 77% vývoz 23%

Pre zabezpečenie výhľadovej potreby veľkotónážnych a strednotónážnych výrobkov sú odhadnuté zdroje lignocelulózových surovín v množstvách, ktoré sú uvedené v tab. 3. Na zabezpečenie surovín pre uvedený rozsah výroby by bolo potrebné cca 2,5 mil. m<sup>3</sup> dreva, t.j. cca 14 % z celkovej ťažby dreva v ČSSR.

## 3. HYDROLÝZA LIGNOCELULÓZOVÝCH SUROVÍN

Pre konverziu lignocelulózových surovín na biotechnologicky využiteľné zložky — monoméne cukry, je nevyhnutné hydrolyzovať polysacharidické zložky fyto-masy — celulózu a hemicelulózy. Hydrolýzne reakcie



Tab. 3. Prehľad výhľadovej potreby produktov konverzie fytomasy v ČSSR

Produkt	Ročná potreba produktu [kt. r <sup>-1</sup> ]	Výťažok produktu [t. tRL <sup>-1</sup> ]	Potreba sacharidov [t. r <sup>-1</sup> ]	Potreba fytomasy [t suš r <sup>-1</sup> ]	Ekvivalentná potreba dreva [m <sup>3</sup> ]
<b>veľkotonážne výroby</b>					
Krmný koncentrát kvasničný (40% proteín)	100	0,58	172 400	313 500	783 750
Krmný koncentrát zmesný (40% proteín)	150	0,72	208 300	378 700	946 750
Etanol kvasný (98,5 %)	100	0,684	146 200	285 800	664 500
<b>Strednotonážne výroby</b>					
L-lyzín	5	0,77	6 500	11 800	29 500
Glutamát Na	1,5	0,80	1 900	3 500	8 750
Kyselina citrónová	20	0,85	23 600	42 900	107 250
Výroba enzýmov	—	—	11 600	21 000	52 500
<b>Spolu</b>	—	—	570 500	1 037 200	2 593 000

\*) 1 m<sup>3</sup> 400 kg sušiny dreva  
RL — redukuje látky

sa využívajú tiež vo výrobe 2-furaldehydu a zúčastňujú sa aj v sulfitových postupoch výroby celulózy.

Poznatky o možnosti hydrolýzy dreva kyselinami sa dajú do začiatku 20. storočia. Postupne sa vyvinulo niekoľko technologických postupov, ktoré sa v rôznych obdobiach využívali. Prehľad týchto tzv. historických postupov je uvedený v tab. 4.

V súčasnom období existujú v zahraničí v rôznej miere overené technologické postupy, ktoré by mohli znamenať pokrok v hydrolýznom priemysle. Ich prednosť je možné vidieť v orientácii

- na kontinuálnu technologickú postup,
- zvyšovanie akcesibility rastlinných polysacharidov,
- viacstupňové procesy, ktoré by umožnili lepšie využiť komponenty fytomasy, za obmedzenia nežiadúcich vedľajších reakcií,
- využívanie enzýmov.

Problematika hydrolýzy dreva sa začala riešiť v ČSSR na začiatku 60-tych rokov (ŠDVÚ Bratislava), kedy sa

Tabuľka 4. Historický prehľad hydrolýznych technológií

Autor, resp. názov technológie	Rok vzniku	Katalyzátor	Realizácia v rokoch	Druh realizácie
Simonsen	1894	0,5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1898	poloprevádzka
Classen	1903	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1903—1920	prevádzka
Bergius	1914	40% HCl	1914—1925	závod Rheinau
Bergius	1925	1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1925—1935	závod Rheinau
Scholler	1928	0,4% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1930—1940	perkolačné závody
Madison proces	1941	0,6% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1940—1950	perkolačný závod
Šarkov	1935	1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	od 1935	perkolačné závody
Rižský proces	1950	80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	poloprevádzka
Hokkaido proces	1951	80% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1957—1961	poloprevádzka
Noguchi proces	1956	42% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1956—1960	poloprevádzka

vypracovali technologické podklady na úrovni investičného zámeru. K pokračovaniu prác došlo až v r. 1974—80, a to v Štátnom drevárskom výskumnom ústave Bratislava (ŠDVÚ) a VÚ LIKO Bratislava.

V posledných rokoch sa v ČSSR problematikou hydrolýzy fytomasy zaoberalo 10—12 inštitúcií. Výskumné práce na týchto pracoviskách sa zásadne neprekrývajú, avšak ani na seba výraznejšie nenadväzujú. Väčšina prác bola na úrovni prieskumu a orientovaného základného výskumu. V rokoch 1974—80 vo VÚ LIKO vypracovali TEŠ pre hydrolýznu kombinát spracovávajúci slamu. Vzhľadom na nejasnosti v zabezpečení surovín nebol tento návrh zaradený do ďalšieho riešenia.

Pri úvahách o možnosti realizácie hydrolýzy fytomasy v ČSSR je potrebné rešpektovať:

a) potrebu výrobkov hydrolýzneho priemyslu:

v ČSSR je deficit bielkovinových krmív, ktorý sa rieši dovozom (rybia múčka, sója), prijateľným postupom pre náhradu tohto dovozu môže byť fermentácia hydrolyzáto fytomasy;

b) surovinovú základňu: ako surovina prichádzajú do úvahy len odpady z ťažby a spracovania dreva. Tieto odpady sú rozptýlené a je obtiažne ich koncentrovať. Časť odpadov sa využíva na energetické účely;

c) ekonomika výroby: cena dovážanej rybiej múčky dosahuje (prepočítané na čistý proteín) cca 12,— Kčs/kg. Cena krmných bielkovín z melasy je 15,30 Kčs/kg, zo sulfitových výluhov 8,60 Kčs/kg. Výrobné náklady hydrolýznych kvasničných bielkovín by boli v súčasnosti vyššie ako pri výrobe z melasy, ktorá bola pre neprijateľné cenové relácie zastavená.

V súvislosti s vysokými nákladmi na získavanie, dopravu a hydrolýtické spracovanie lignocelulóзовých odpadov (napr. lesná štiepka) je možné uvažovať len s výrobkami s vyššími cenovými ukazateľmi, ako majú krmné kvasnice (napr. lyzín). Je potrebné uvážiť skutočnosť, že hodnota výrobkov z drevnej hmoty v celulózo-papierenskom priemysle dosahuje z každého plno-metra dreva úroveň cca 3 000,— Kčs. To znamená, že pri jeho hydrolýtickom spracovaní by bolo potrebné vyrábať produkty v cene cca 23,— až 24,— Kčs/kg. Tieto skutočnosti poukazujú na to, že z ekonomického hľadiska je hydrolýtické spracovanie drevnej suroviny problematické a rizikové.

Hydrolýza fytomasy sa intenzívne rozpracováva v rôznych krajinách sveta. Pokiaľ dôjde k vypracovaniu ekonomicky vhodného postupu hydrolýzy fytomasy na asimilovateľné sacharidy bude potrebné prehodnotiť spôsoby využitia fytomasy v ČSSR a vyčleniť časť pre posilnenie surovinovej základne biotechnológií.

#### 4. ZÁVER

Predpokladom rozvoja biotechnológií v ČSSR je zabezpečenie surovinovej základne. Ako zdroj uhlíka a teda hlavnou surovinou biotechnológií zostávajú sacharidy — cukor, melasa, škrob, ktorých využitie je potrebné venovať prvoradú pozornosť. Reálnou surovinou v ČSSR je repný cukor. Potrebné je prehodnotiť ekonomické hľadiská jeho využiteľnosti a prijať opatrenia v oblasti racionalizácie jeho výroby a spotreby (syntetické sladidlá, výroba fruktózového sirupu a pod.).

Pre veľkotonážnu výrobu krmných bielkovín prichádza do úvahy ako uhlíkatá surovina aj metanol.

Siršiemu využitiu fytomasy v súčasnosti bránia ako ekonomické, tak aj technologické dôvody. Bude nutné prehodnotiť výhodnosť niektorých dnešných smerov využitia lignocelulóзовých surovín, ako aj vymedziť hranice rentability možných hydrolýznych postupov spracovania fytomasy. Ako optimálne riešenie v súčasnosti sa javí možnosť využitia hydrolyzáto fytomasy na strednotonážne a malotonážne výrobky s vyššou cenou, a to v rámci jestvujúcich celulózo-papierenských kombinátov, kde je vytvorená základná štruktúra pre dopravu, úpravu a spracovanie lignocelulóзовých surovín.

Z hľadiska ďalšieho rozvoja biotechnológií bude potrebné riešiť problém cien surovín pre biotechnológie, vrátane ich substitučnej účinnosti. Ceny dostupných substrátov pre výrobu krmných bielkovín a enzýmov spôsobujú, že v porovnaní s klasickými zdrojmi bielkovín (výroba alebo dovoz) biotechnologicky vyrábané pro-



dukty majú vyššie nákladové položky. Perspektívne bude nutné orientovať cenovú politiku na zblížovanie nákladov tradičných a biotechnologických výrob, a to na základe rastu efektívnosti biotechnologických než tradičných postupov.

**Blažej, A.: — Špilda, I.: Lignocelulózové materiály ako surovina pre biotechnológie.** Kvas. prům., 32, 1986, č. 11, s. 149—252.

Predpokladom rozvoja biotechnológií v ČSSR je zabezpečenie surovínovej základne. V súčasnosti zdrojom uhlíka — hlavnou surovinou biotechnológií — zostávajú sacharidy (melasa, škrob, sacharóza). Potrebné je prehodnotiť možnosti využitia repného cukru a prijať opatrenia ako v jeho výrobe, tak aj v spotrebe. Využitíu alternatívnych zdrojov na báze fytomasy — lignocelulózových surovín bránia ako ekonomické tak aj technologické dôvody. Ako optimálne riešenie v súčasnosti sa javí využitie hydrolyzáto fytomasy v rámci jestvujúcich celulózo-papierenských kombinátov, a to na strednotónážne a malotónážne výrobky s vyššou cenou.

**Блажей, А. — Шпи́лда, И.: Лигноцеллюлозные материалы как сырье для биотехнологий.** Квас. прум., 32, 1986, № 11, стр. 149—252.

Предположением для развития биотехнологий в ЧССР является обеспечение сырьевой базы. В современности ресурсом углерода — главным сырьем биотехнологий являются углеводы — меласса, крахмал, сахароза. Следует переоценить возможности использования свекловичного сахара и принять меры в области его производства и утилизации. Использование возможных ресурсов — фитомассы — лигноцеллюлозных материалов замедлено как экономическими так технологическими причинами. Оптимальное современное решение этих проблем состоит в использовании гидролизатов фитомассы на средние и малотоннажные продукты с высшей стои-

мостью именно в рамках существующих целлюлозно-бумажных комбинатов.

**Blažej, A. — Špilda, I.: Lignocellulose Materials as a Substrate for Biotechnologies.** Kvas. prům., 32, 1986, No. 11, pp. 149—252.

The presumption of biotechnology development in Czechoslovakia is the acquirement of raw-material basis. Current source of carbon for biotechnology i. e. main raw-material are saccharides — molasses, starch, saccharose. It will be necessary to revalue the possibilities of beet sugar utilization and accept measures in the production as well as in consumption. The better utilization alternative phytomass — lignocellulosic materials is retarded by economical and technical problems. The optimal solution of such problems in the presence is the production of medium and lowtonnage products of higher price from phytomass hydrolysates in existing pulp and paper combines.

**Blažej, A. — Špilda, I.: Lignocellulose-Materiale als biotechnologischer Rohstoff.** Kvas. prům., 32, 1986, Nr. 11, s. 149—252.

Die Voraussetzung für die Entwicklung von Biotechnologien in der ČSSR ist die Sicherung der Rohstoffbasis. In der Gegenwart sind die Hauptquellen des Kohlenstoffs Schariden — Melasse, Stärke und Sacharose. Es ist notwendig, die Möglichkeiten der Ausnutzung des Rübenzuckers umzuwerten und die geeigneten Massnahmen für seine Produktion und seinen Verbrauch anzunehmen. Der Ausnutzung der alternativen Quellen auf der Basis der Phytomasse — der Lignocellulose-Rohstoffe wirken die technologischen und ökonomischen Gründen entgegen. Eine optimale Lösung erscheint heute in der Ausnutzung von Phytomasshydrolysaten für die Produkte der leichten und mittleren Tonnage mit höherem Preis, und zwar im Rahmen der gegenwärtigen Cellulose-Papier-Kombinate.