

TEORETICKÁ ANALÝZA KRITÉRIÍ OPTIMALIZACE PRODUKCE ŘAS VE VENKOVNÍCH KULTIVAČNÍCH JEDNOTKÁCH

Ing. KAREL LÍVANSKÝ, CSc., Mikrobiologický ústav AV ČR, Oddělení autotrofních mikroorganismů, Třeboň

Klíčová slova: řasy, kultivační jednotky, optimalizace

ÚVOD

Dosud existuje diskrepance mezi skutečným rozšířením produkce biomasy mikroskopických řas a jejich růstovou schopností [1]. Hlavním důvodem jsou vysoké produkční náklady — na promíchávání, respektive čerpání řasové suspenze v kultivační jednotce a dále náklady na separaci řas, které mohou dosahovat 20—33 % celkových nákladů na produkci [2]. K problému optimalizace produkce řas patří v první řadě volba kritéria, podle kterého hodnotíme proces. Takovým kritériem může být minimalizace provozních nákladů kultivace řas, a to především na čerpání suspenze v kultivační jednotce a nákladů na separaci řas, přičemž tyto náklady jsou vztaženy na jednotku hmotnosti napěstované biomasy. Dalším kritériem optimalizace může být zisk realizovaný z prodeje řasové biomasy, vztažený na jednotkovou kultivační plochu.

Uvedená kritéria optimalizace analyzujeme v této práci a ukazujeme souvislost mezi těmito kritérii.

MATEMATICKÉ VYJÁDRĚNÍ KRITÉRIÍ OPTIMALIZACE

1. *Energetické náklady na čerpání řasové suspenze a na separaci řas vztažené na jednotku hmotnosti naprodukované biomasy — kritérium I.*

Při optimalizaci kultivačních jednotek pro pěstování řas požadujeme, aby kritérium I. nabývalo minimální hodnoty. Toto kritérium vyjádříme ve formě:

$$e = e_c + e_s \quad (1)$$

kde e_c jsou energetické náklady na čerpání suspenze řas na kultivační plochu (předpokládáme kultivační jednotky, jejichž princip byl popsán v tomto časopise dříve [3], e_s — energetické náklady na separaci řas. Uvedené náklady vztahujeme na jednotku hmotnosti naprodukované řasové biomasy.

Jednotlivé členy v rov. (1) si podrobněji roze-
šeme:

$$e_c = E_c / PA \quad (a) \quad e_s = E_s / Q_s X_v \quad (b) \quad (2a, 2b)$$

kde E_c je příkon čerpadla, které dodává suspenzi na kultivační plochu, E_s — příkon separátoru, včetně příkonu čerpadla, které dodává suspenzi do separátoru, P — produktivita řas, A — velikost kultivační plochy, Q_s — objemový průtok suspenze do separátoru, X_v — objemová koncentrace řas (sušina) v suspenzi před separací.

Příkon čerpadla E_c je dán vztahem [4]:

$$E_c = \rho g H Q_c / \xi_1 \xi_2 \xi_3 \quad (3)$$

kde ρ — specifická hmotnost suspenze, g — gravi-
tační zrychlení, H — pracovní výška čerpadla,
 Q_c — objemový průtok suspenze čerpadlem, ξ_1 až
 ξ_3 — účinnost čerpadla, převodů a elektromotoru.

Vyjádříme si plošnou koncentraci řas na kulti-
vační ploše:

$$X_p = V_p X_v / A \quad (4)$$

kde V_p je objem řasové suspenze na kultivační plo-
še. Dále platí vztahy: $A = b \cdot L$ (b — šířka, L —
délka kultivační plochy), $V_p = A \cdot h$, kde h je tlouš-
tka vrstvy suspenze na kultivační ploše. Použitím
výše uvedených vztahů v rov. (1) dostaneme:

$$e = \rho g H (Q_c / b) / (\xi_1 \xi_2 \xi_3 PL) + E_s h / (Q_s X_p); \quad (5)$$

Tento vztah si dále upravíme vyjádřením závis-
losti tloušťky vrstvy h na objemovém průtoku sus-
penze Q_c / b dodávaném čerpadlem na jednotku
šířky kultivační plochy. Střední rychlost u suspen-
ze na kultivační ploše se sklonem $\sin \alpha$ si vyjádří-
me dle Maningovy rovnice [5]:

$$u = (1/n) \cdot h^{2/3} (\sin \alpha)^{-1/2} \quad (6)$$

V této rovnici se uznančně dosazují následující
rozměry veličin: u [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], h [m], součinitel drs-
nosti n [$\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3}$].

Jelikož platí: $Q_c / b = uh$, dosazením za u z to-
hoto vztahu do rov. (6) a výpočtem h obdržíme:

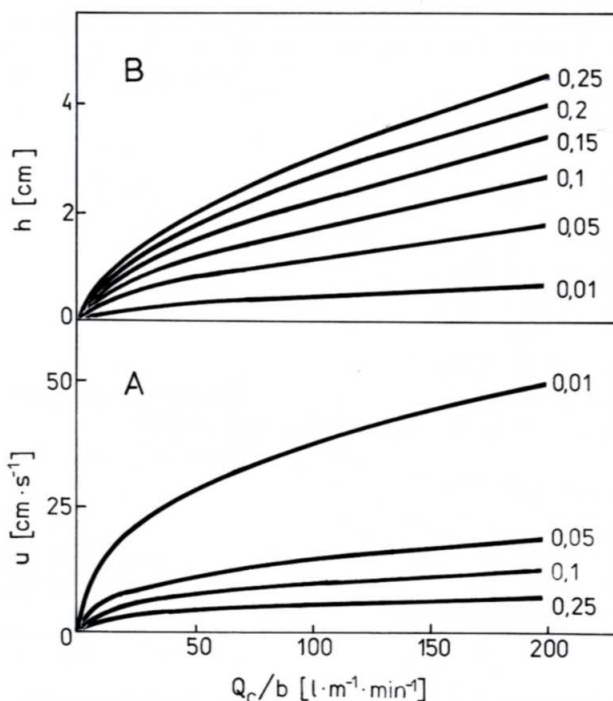
$$h = n^{0.6} (Q_c / b)^{0.6} (\sin \alpha)^{-0.3} \quad (7)$$

Průběh závislosti dle rovnic (6) a (7) je uveden
pro různé hodnoty součinitele drsnosti n v obr. 1.

Dosazením za h z rov. (7) do rov. (5) dostaneme
hledané matematické vyjádření optimalizačního
kritéria I.:

$$e = \frac{\rho g H (Q_c / b)}{\xi_1 \xi_2 \xi_3 PL} + \frac{E_s n^{0.6} (Q_c / b)^{0.6}}{Q_s X_p (\sin \alpha)^{0.3}}; \quad (8)$$

V rovnici (8) vystupují parametry, které závisí
na konstrukci kultivační plochy a kultivační jed-
notky: H — pracovní výška čerpadla dopravující-
ho suspenzi na kultivační plochu, L — délka kul-
tivační plochy, $\sin \alpha$ — sklon kultivační plochy,
 n — součinitel drsnosti kultivační plochy. Dále



Obr. 1.: Vliv parametru Q_c/b na tloušťku vrstvy h — rov. (7) — a na střední rychlost suspenze u na kultivační ploše — rov. (6). Vypočteno pro sklon kultivační plochy $\sin \alpha = 0,02$. Číslo u křivek: hodnoty součinitele drsnosti n [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1/3}$] kultivační plochy.

zde vystupují parametry související s kultivací řas: X_p — plošná koncentrace řas na kultivační ploše, P — produktivita řas, Q_c / b — objemové množství suspenze dopravované čerpadlem za jednotku času na jednotku šířky kultivační plochy. Produktivitu řas můžeme regulovat především výběrem vhodného kmene řas a regulací plošné koncentrace řas X_p . Teplotu řasové suspenze a intenzitu světla dopadající na kultivační plochu, na nichž produktivita řas závisí, nebudeme moci zpravidla ovlivnit. (Pro podmínky treboňského pracoviště v období červen—září byla zjištěna střední teplota kultury řas $20,4 \pm 4,0$ °C a intenzita světla 380 ± 107 W/m^2 , při střední délce kultivace 9,1 h za den — [6]. Teplota kultury řas 25 °C použita níže v tab. 1 v příkladu výpočtu by mohla odpovídat kultivačním lokalitám např. v Bulharsku nebo Itálii, kde se mikroskopické řasy ve venkovních jednotkách skutečně pěstují nebo se provádí jejich výzkum.

Z rovnice (8) je zřejmé, že pro minimalizaci energetických nákladů e je nutno minimalizovat hodnoty konstrukčních parametrů n a H a použít co možno největší délku L kultivační plochy. Z provozních parametrů je nutné minimalizovat Q_c / b , což s ohledem na rovnici (7) znamená minimalizovat tloušťku vrstvy h , suspenze na kultivační ploše. Zmenšení tloušťky vrstvy suspenze se do-

Tabulka 1. Hodnoty parametrů pro příklad výpočtu

$a = 0,06$	Simmer, osob. sděl.
$E_s/Q_s = 3 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$	Ref. [2]
$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	
$k_1 = 1,1$	
$L = 30 \text{ m}$	
$n = 0,1 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$	
$\sin \alpha = 0,02$	
$T_L = T_D = 12 \text{ h}$	
$\Delta_z = 3 \text{ m}$	
$\beta = 1 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$	Simmer, osob. sděl.
$\varepsilon = 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	
$\mu_{\max} = 0,12 \text{ h}^{-1}$, pro střed. teplotu 25°C ;	Simmer, osob. sděl.
$\mu_{dD} = 0,0072 \text{ h}^{-1}$	
$\xi_1 = 0,7$	Ref. [4]
$\xi_2 = 0,92$	Ref. [4]
$\xi_3 = 0,8$	Ref. [4]
$\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	

poručuje [1] z důvodů snížení produkčních nákladů a nákladů na separaci řas. Dále je nutno udržovat plošnou koncentraci X_p vhodným režimem separace řas na hodnotu zaručující minimum energetických nákladů e .

2. Finanční zisk vztažený na jednotku kultivační plochy — kritérium II

Toto kritérium, označme si jej Z , by mělo nabývat při optimalizaci maximální hodnoty. Zahrnuje v sobě veličinu e (součet energetických nákladů na čerpání kultury řas na kultivační plochu a na separaci řas, vztažený na jednotkovou hmotnost odseparované řasové biomasy), kterou jsme si označili výše jako kritérium I. Kritérium II. si vyjádříme takto:

$$Z = P(\alpha - \beta e) - N \quad (9)$$

kde α je rozdíl mezi finančním ziskem za realizovanou řasovou biomasu a mezi vynaloženými finančními náklady na živné látky, CO_2 a na zpracování řas (dezintegrace buněk a sušení). Tento rozdíl je vztažen na jednotku hmotnosti naprodukované řasové biomasy. Parametr β představuje cenu jednotkového množství elektrické energie. Náklady na údržbu, mzdy a investice, vztažené na jednotku kultivační plochy a jednotku doby kultivace jsme si označili N . Vzhledem k tomu, že v této práci neuvažujeme konkrétní projekt kultivační jednotky, abstrahujeme v dalším od nákladů N a zabýváme se redukcí rovnicí (9):

$$Z = P(\alpha - \beta e) \quad (10)$$

PRODUKTIVITA ŘAS

Ve vztazích (9) a (10) vystupuje produktivita řas P , která je ovlivněna růstem řas v periodě světla

a úbytkem řasové biomasy způsobeným prodáváním v periodě tmy. Střední produktivita řas za periodu světla a tmy (počítá se obvykle za období 24 h) může být vyjádřena takto:

$$P = (P_L T_L - \mu_{dD} T_D V X_v / A) / (T_L + T_D); \quad (11)$$

kde P_L je produktivita řas v periodě světla, μ_{dD} — specifická rychlost prodávání řas v periodě tmy, T_L a T_D jsou délky periody světla a tmy.

Produktivitu řas v periodě světla můžeme teoreticky odhadnout ze vztahu (Simmer — osobní sdělení):

$$P_L = (\mu_{\max} / \varepsilon) \cdot \ln \frac{\{1 + [1 + (K_1 / I_0)^2]^{1/2}\} \cdot \exp(\varepsilon h X_v)}{1 + [1 + (K_1 / I_0)^2 \cdot \exp(2\varepsilon h X_v)]^{1/2}} - a \varepsilon h X_v \quad (12)$$

Zde μ_{\max} je maximální specifická růstová rychlost, ε — extinkční koeficient řasové suspenze, K_1 — saturační konstanta, I_0 — intenzita osvětlení řasové kultury. Ve vztahu (12) použijeme střední hodnoty parametrů ve světelné periodě kultivace řas. V práci [1] se udává, že by měl existovat pozitivní vliv míchání řasové suspenze na produktivitu řas s výraznějším efektem při vyšší koncentraci řas v suspenzi. Dosud však panuje kontroverze ohledně vlivu míchání a turbulence na produktivitu řas, a proto používáme rov. (12) bez vyjádření případné závislosti nějakého parametru na míchání. Tuto otázku je ještě třeba dalším výzkumem objasnit.

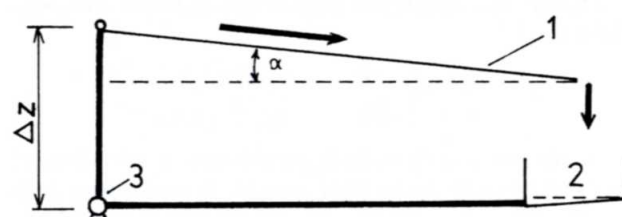
S přihlédnutím k rovnicím (4) a (12) lze rovnici (11) přepsat do výpočtového tvaru:

$$P = \{(\mu_{\max} T_L / \varepsilon) [\ln \frac{\{1 + [1 + (K_1 / I_0)^2]^{1/2}\} \exp(\varepsilon X_p)}{\{1 + [1 + (K_1 / I_0)^2 \cdot \exp(2\varepsilon X_p)]^{1/2}} - a \varepsilon X_p] - \mu_{dD} T_D k_1 X_p\} / (T_L + T_D); \quad (13)$$

kde k_1 je součinitel rovný poměru veškerého objemu suspenze v kultivační jednotce k objemu suspenze, který se nachází pouze na kultivační ploše.

PŘÍKLAD VÝPOČTU

Na obr. 2 je schéma kultivační jednotky pro řasy. Řasová suspenze je dopravována čerpadlem



Obr. 2.: Schéma venkovní kultivační jednotky pro pěstování řas (boční pohled). 1 — kultivační plocha, 2 — nádrž, 3 — čerpadlo, Δz — dopravní výška.

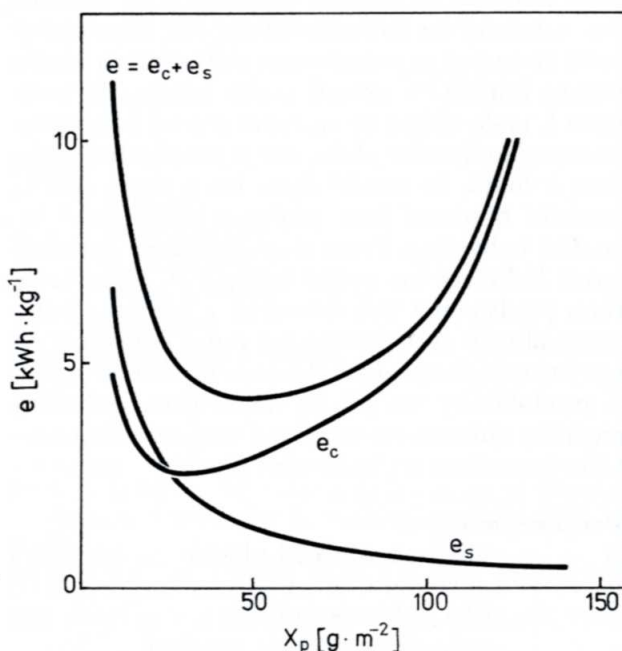
do výšky Δz na kultivační plochu. Pracovní výška čerpadla H musí být větší než geometrická výška Δz , neboť je třeba překonávat hydraulické odpory ve výtlačném potrubí čerpadla. Dle našich hydraulických výpočtů můžeme H aproximovat vztahem:

$$H = \Delta z + 0,5 \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (14)$$

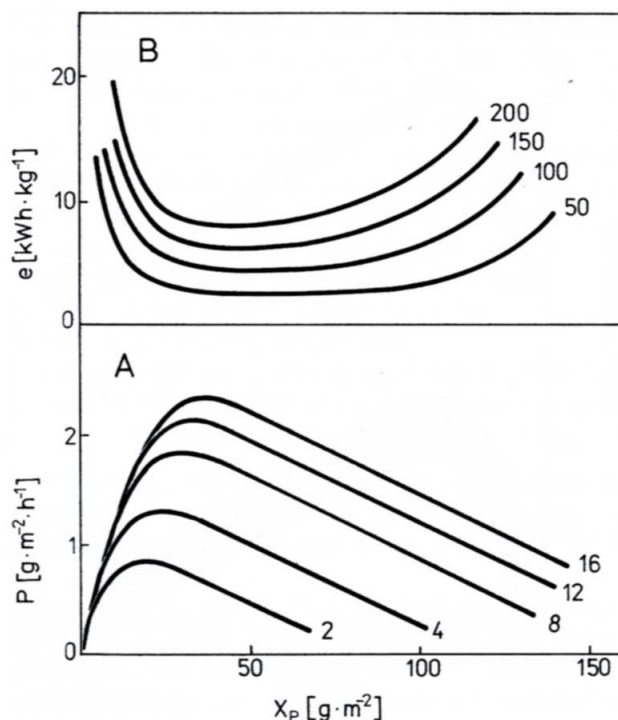
V tabulce 1 jsou uvedeny parametry použité pro výpočet průběhu optimalizačních kritérií a produktivity řas dle vzorců uvedených v této práci.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Z obr. 3 je zřejmé, že energetické náklady na separaci řas vztažené na jednotku hmotnosti naprodukované biomasy klesají (při konstantní tloušťce vrstvy na kultivační ploše — v našem příkladu $h = 1,75$ cm, jak plyne z rov. (7) — se vzrůstem plošné koncentrace řas na kultivační ploše. Energetické náklady na čerpání řasové suspenze na kultivační plochu, vztažené na jednotku hmotnosti naprodukované biomasy řas, vykazují ve svém průběhu minimum. Součet obou energetických nákladů (opět vztažený na jednotku hmotnosti naprodukované biomasy řas), vykazuje ve svém průběhu rovněž minimum, jak plyne z obr. 3. Poznamenáváme, že uvedený součet energetických nákladů představuje optimalizační kritérium I.



Obr. 3.: Závislost energetických nákladů e_c na čerpání suspenze na kultivační plochu a energetických nákladů e_s při separaci řas [rovnice (8)] na plošné koncentraci řas X_p na kultivační ploše; e — součet nákladů na čerpání suspenze a na separaci řas. Náklady e_c , e_s , e jsou vztaženy na 1 kg naprodukované řasové biomasy. Vypočteno pro: $Q_c/b = 100 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $I_0/K_I = 8$ a pro parametry uvedené v tab. 1.

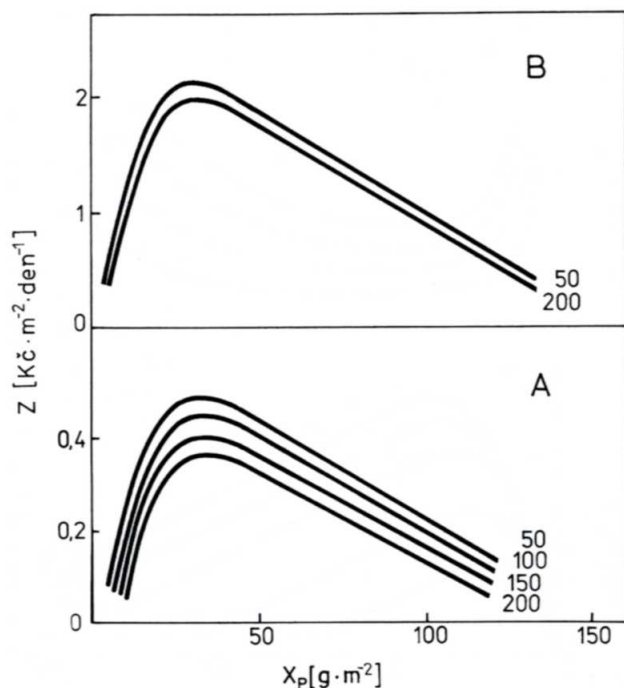


Obr. 4.: A — závislost dle rov. (13) pro parametry uvedené v tab. 1. B — závislost dle rov. (8) vypočtená pro parametry uvedené v tab. 1 a $I_0/K_I = 8$. Číslo u křivek: hodnoty Q_c/b [$\text{l} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$].

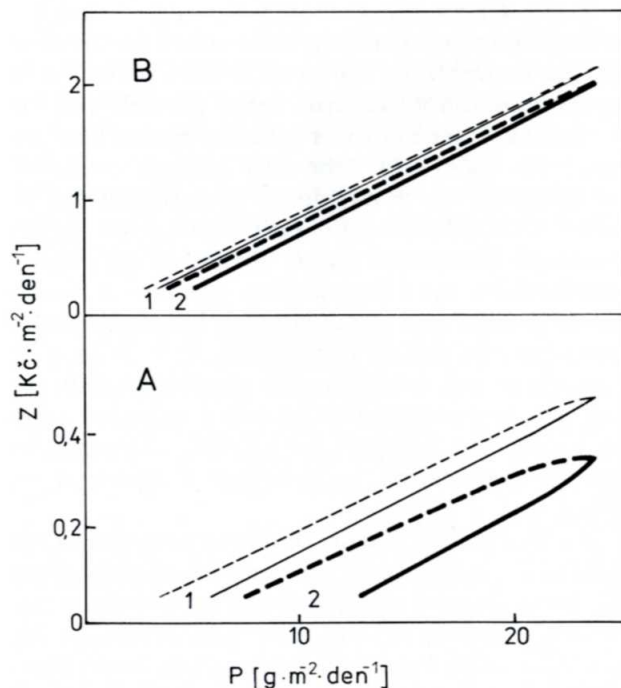
Z obr. 4 je zřejmé, že v oblasti minima kritéria I. je hodnota tohoto kritéria málo citlivá ke změnám plošné koncentrace řas na kultivační ploše. To je nevýhodou tohoto kritéria, neboť produktivita řas je naopak značně citlivá na změny plošné koncentrace řas (obr. 4A). Obdobný průběh závislosti produktivity řas P na plošné koncentraci řas X_p uvádí GOLDMAN [7] a GROBBELAAR aj. [8]. Posledně jmenovaní autoři zjistili, že maximální produktivity řas (*Scenedesmus obliquus* a *Coelastrum sphaericum*) ve venkovních kulturách je dosažováno při plošné koncentraci $X_p = 38$ až 41 g (sušiny) na m^2 . Kompenzační plošná koncentrace řas, při které je produktivita vrstvy suspenze nulová v důsledku kompenzace přírůstku biomasy jejím prodáváním, se pohybuje v oblasti $X_p = 200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ — [8].

Z obr. 4 je dále patrné, že minima energetických nákladů e je dosaženo při plošné koncentraci řas X_p , která již není optimální pro produktivitu řas. Snížení produktivity řas ovšem sníží zisk za naprodukovanou biomasu. Toto snížení bude pravděpodobně daleko větší, při současných tržních podmínkách (kdy se sušená řasová biomasa realizuje v ceně několik set Kč za 1 kg), než finanční efekt z úspory energie na čerpání suspenze a na separaci řas.

Na obr. 5 je uveden průběh kritéria II. v závislosti na plošné koncentraci řas pro různé objemo-



Obr. 5.: Závislost dle rov. (10) vypočtená pro parametry uvedené v tab. 1 a $I_0/K_I = 8$. Číslo u křivek: hodnoty Q_c/b [$\text{l.m}^{-1}.\text{min}^{-1}$]. A — $\alpha = 25 \text{ Kc.kg}^{-1}$; B — $\alpha = 100 \text{ Kc.kg}^{-1}$.



Obr. 6.: Závislost dle rov. (10) vypočtená pro parametry uvedené v tab. 1. a $I_0/K_I = 8$. Číslo u křivek: 1 — $Q_c/b = 50 \text{ l.m}^{-1}.\text{min}^{-1}$; 2 — $Q_c/b = 200 \text{ l.m}^{-1}.\text{min}^{-1}$. A — $\alpha = 25 \text{ Kc.kg}^{-1}$, B — $\alpha = 100 \text{ Kc.kg}^{-1}$. Plné čáry — vzestupná část, (přerušované čáry — sestupná část) průběhu produktivity řas P pro $I_0/K_I = 8$ v obr. 4 A.

vé množství suspenze dodávané na kultivační plochu. Z obrázku je zřejmé, že optimalizační kritérium II. je značně citlivé k plošné koncentraci řas a je málo citlivé k objemovému průtoku suspenze čerpadlem Q_c/b , pokud je hodnota parametru α v rovnici (10) vysoká. (Pozn.: v současné praxi tomu tak je.) Porovnáním obrázků 4A a 5 je patrné, že uvedené závislosti mají obdobný průběh. Proto je možno hledat vztah mezi optimalizačním kritériem II. a produktivitou řas. Z obr. 6 vyplývá, že hodnota kritéria II. je značně citlivá vůči produktivitě řas. Maximální hodnoty kritéria (o to při optimalizaci jde) je dosaženo tehdy, je-li produktivita řas maximální. Z toho také vyplývá strategie optimalizace kultivační jednotky pro řasy: dosahovat maximální produktivity řas, při co nejmenším množství suspenze dopravované na kultivační plochu. Tohoto cíle lze dosáhnout např. selekcí vhodného kmene řas pro kultivaci, udržováním optimální koncentrace řas, odstraněním faktorů, které by mohly limitovat produktivitu řas — např. nízká koncentrace rozpuštěného oxidu uhličitého v suspenzi, vysoká koncentrace kyslíku v suspenzi, nedostatečné promíchávání suspenze na kultivační ploše, usazování buněk atd.

ZÁVĚR

Při optimalizaci kultivační jednotky pro řasy podle kritéria optimalizace I. (součet energetických nákladů na čerpání suspenze a na separaci řas, vztažený na jednotku hmotnosti naprodukované biomasy) je požadována minimální hodnota tohoto kritéria. V oblasti svého minima je kritérium I. málo citlivé ke změnám plošné koncentrace řas na kultivační ploše, což je nevýhodné vzhledem k tomu, že produktivita řas a tím i zisk za řasovou biomasu jsou plošnou koncentrací řas značně ovlivněny. Proto doporučujeme optimalizovat kultivaci řas podle kritéria II. (toto kritérium představuje zisk dosažený z jednotky kultivační plochy za jednotkovou dobu kultivace) takovým způsobem, aby bylo dosahováno co největší produktivity řas při co nejmenším, technicky možném objemovém množství suspenze dopravované čerpadlem na kultivační plochu.

Použité symboly

A	— velikost kultivační plochy	$[\text{m}^2]$
a	— součinitel v rov. (12)	$[-]$
b	— šířka kultivační plochy	$[\text{m}]$
e	— energetické náklady vztažené na jednotku hmotnosti naprodukované biomasy	$[\text{kWh.kg}^{-1}]$
E	— příkon	$[\text{kW}]$
g	— gravitační zrychlení	$[\text{m.s}^{-2}]$
H	— pracovní výška čerpadla	$[\text{m}]$
h	— tloušťka vrstvy suspenze na kultivační ploše	$[\text{m}]$
I_0	— ozáření kultury řas	$[\text{W.m}^{-2}]$

K_1	— saturační konstanta	[W.m ⁻²]
k_1	— součinitel v rov. (1)	[—]
L	— délka kultivační plochy	[m]
n	— součinitel drsnosti	[s.m ^{-1/3}]
N	— náklady (investice, mzdy a údržba) vztažené na jednotku kultivační plochy a doby kultivace	[Kč.m ⁻² .den ⁻¹]
P	— produktivita řas	[g.m ⁻² .den ⁻¹]
Q	— objemový průtok suspenze řas	[m ³ .h ⁻¹]
T	— délka periody	[den]
u	— rychlost suspenze řas na kultivační ploše	[m.s ⁻¹]
V	— objem řasové suspenze v kultivační jednotce	[m ³]
X_p	— plošná koncentrace řas	[g.m ⁻²]
X_v	— objemová koncentrace řas	[g.m ⁻³]
Z	— finanční zisk z jednotky kultivační plochy za jednotku doby kultivace řas	[Kč.m ⁻² .den ⁻¹]
Δz	— dopravní výška čerpadla	[m]
α	— parametr v rov. (9)	[Kč.kg řas ⁻¹]
β	— cena za jednotku množství elektrické energie	[Kč.kWh ⁻¹]
ε	— extinkční koeficient	[m ² .g ⁻¹]
ξ_1 — ξ_3	— účinnost čerpadla, převodů a elektromotoru	[—]
μ	— specifická rychlost	[h ⁻¹]
ρ	— specifická hmotnost řasové suspenze	[g.m ⁻³]

Indexy

c	— čerpání
d	— prodýchávání
D	— perioda tmy
L	— perioda světla
s	— separace
max	— maximální hodnota

Literatura

- [1] STADLER T. Ed.: Algal Biotechnology. Elsevier Applied Science Publ., Barking, England 1988, s. 237.
- [2] GUDIN C., THEPENIER C.: Adv. Biotechnol. Processes 6, 1986, s. 73.
- [3] LÍVANSKÝ K., KAJAN M.: Kvas. prům., 35, 1989, s. 239.
- [4] MÍKA V., NEUŽIL L., VLČEK J.: Sběrka příkladů z chemického inženýrství, SNTL Praha 1981.
- [5] BOROWITZKA M. A., BOROWITZKA L. J. Eds.: Microalgal Biotechnology. Cambridge University Press, Cambridge 1988, s. 357.
- [6] KAJAN M. a kol.: Archiv f. Hydrobiol. (Algological Studies), 65, 1992, s. 93.
- [7] GOLDMAN J. C.: Water Res. 13, 1979, s. 119.
- [8] GROBBELAAR J. V., SOEDER C. J., STENGEL E.: Biomass 21, 1990, s. 297.

Lívanský, K.: Teoretická analýza kritérií optimalizace produkce řas ve venkovních kultivačních jednotkách. Kvas. prům., 41, 1995, č. 5, s. 143—150.

Pro optimalizaci produkce biomasy mikroskopických řas na skloněné ploše ve venkovních kultivačních jednotkách jsou analyzována dvě kritéria: minimalizace provozních nákladů na čerpání suspenze a separaci řas, vztažených na jednotku hmotnosti vyprodukované biomasy (I) a zisk realizovaný z prodeje řasové biomasy vztažený na jednotkovou kultivační plochu (II).

Pro optimalizaci procesu doporučují autoři kritérium II, neboť kritérium I je málo citlivé ke změnám výrazně ovlivňujícím produktivitu řas.

Lívanský, K.: Theoretical Analysis with Respect to Optimization Criteria of Algae Production in Outdoor Cultivation Units. Kvas. prům. 41 1995, Nr. 5, pp. 143—150.

For biomass production optimization of microscopic algae on sloped area in outdoor cultivation units, two criteria are analyzed: minimalization of operational costs necessary for suspension pumping and algae separation in relation to mass unit of produced biomass (I) and to profit obtained from the sale of algae biomass related to cultivation area unit (II).

For the purpose of process optimization, the authors recommend the criterion II, because the criterion I demonstrates a small sensitivity to changes influencing algae productivity.

Lívanský, K.: Theoretische Analyse der Optimalisierungskriterien der Algenproduktion in Kultivationseinheiten im Freien. Kvas. prům. 41, 1995, Nr. 5, S. 143—150.

Für die Optimalisierung der Biomasseproduktion mikroskopischer Algen auf geneigter Fläche in Kultivationseinheiten im Freien werden zwei Kriterien analysiert: Minimalisierung der Betriebskosten des Pumpens der Suspension und der Algenseparation, bezogen auf Masseinheit der produzierten Biomasse (I) und Gewinn, der aus dem Verkauf der Algenbiomasse realisiert wird, bezogen auf Einheit der Kultivationsfläche (II).

Für die Optimalisierung des Prozesses empfehlen die Autoren das Kriterium II, denn das Kriterium I ist gegenüber den Veränderungen, welche die Algenproduktivität in markanter Weise beeinflussen, wenig empfindlich.

Ливански, К.: Теоретический анализ критериев оптимизации продукции водорослей в наружных культивационных агрегатах. Квас. прум. 41, 1995, № 5, стр. 143—150.

В целях оптимизации продукции биомассы микроскопических водорослей на наклоненной плоскости в наружных культивационных установках анализируются два критерия: минимизация производственных расходов на от-

качивание суспензии и сепарацию водорослей, отнесенных к единице массы водорослей (I), и прибыль, реализованная в продаже биомассы водорослей, отнесенная к культивационной плоскости агрегата (II).

Для оптимизации процесса авторы рекомендуют критерий II, так как критерий I мало чувствителен к изменениям, оказывающим выразительное влияние на продуктивность водорослей.

Lektoroval Doc. Ing. J. Páca, CSc.