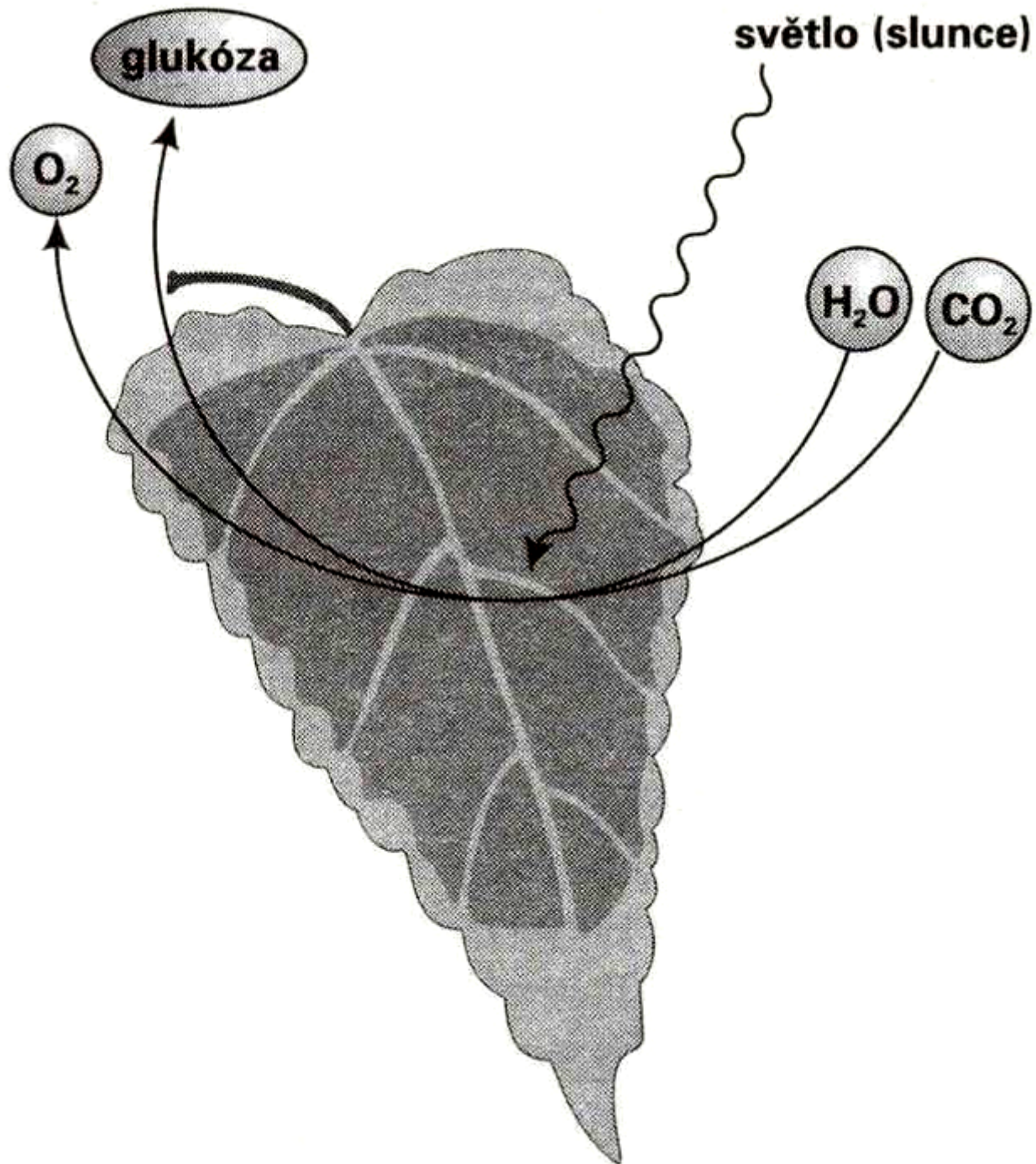
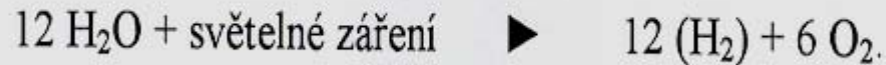

FOTOSYNTÉZA

- Fotochemický proces, při němž fotosynteticky aktivní pigmenty v zelených částech rostlin přijímají energii světelného záření a přeměňují ji na energii chemickou. Ta je dále využita při biologických syntézách, což je proces tvorby organických látek (primárně sacharidů) z látek anorganických, a to z oxidu uhličitého a vody.
-



Vyjádření fotosyntézy základními rovnicemi

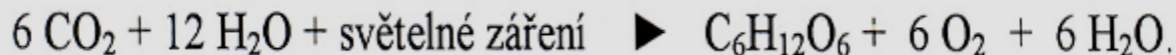
Pro **světelnou fázi**, ve které probíhají fotochemické reakce, je charakteristická rovnice:



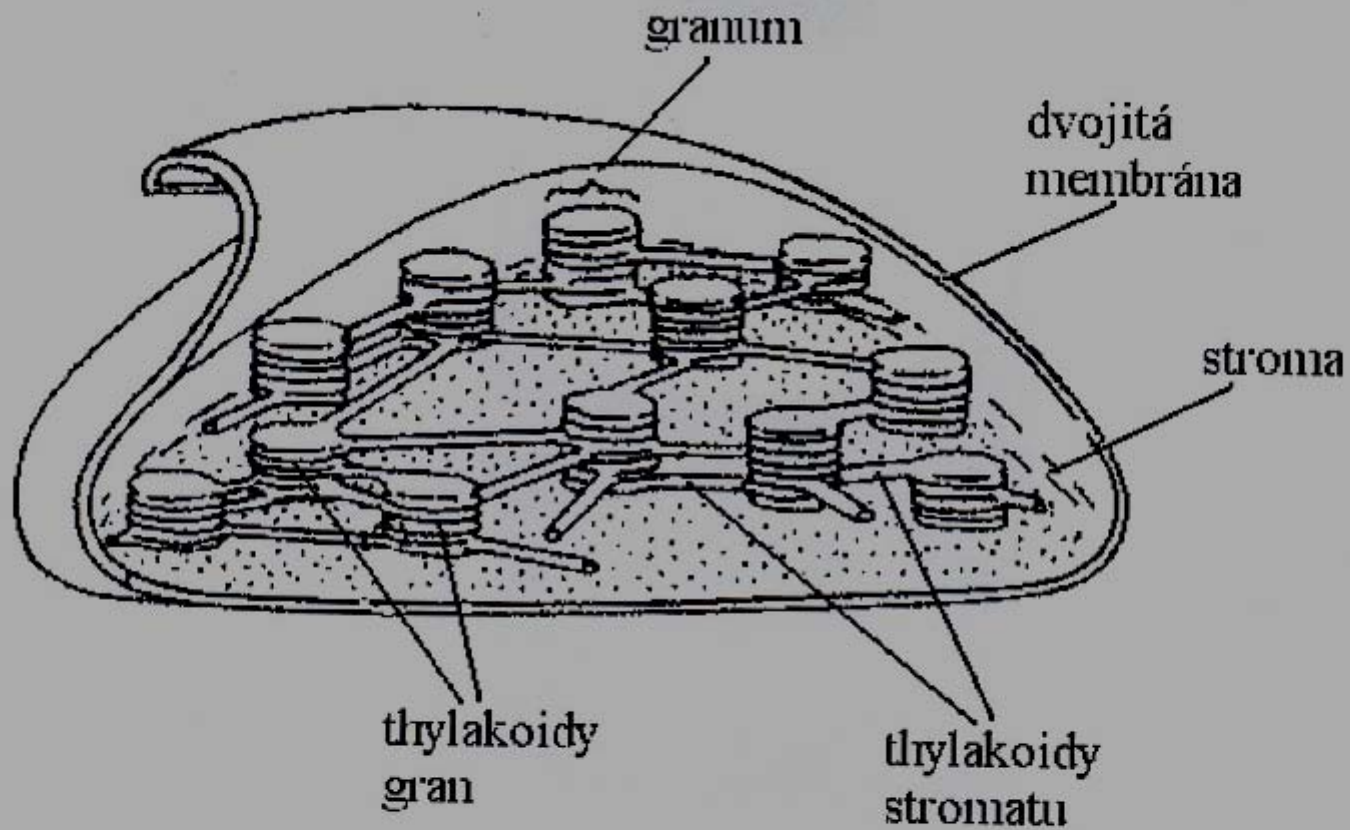
Temnotní fázi fotosyntézy s charakteristickými enzymatickými reakcemi můžeme zjednodušeně popsat rovnicí:



Sumárně pak můžeme celý proces fotosyntézy vyjádřit **základní rovnicí**:

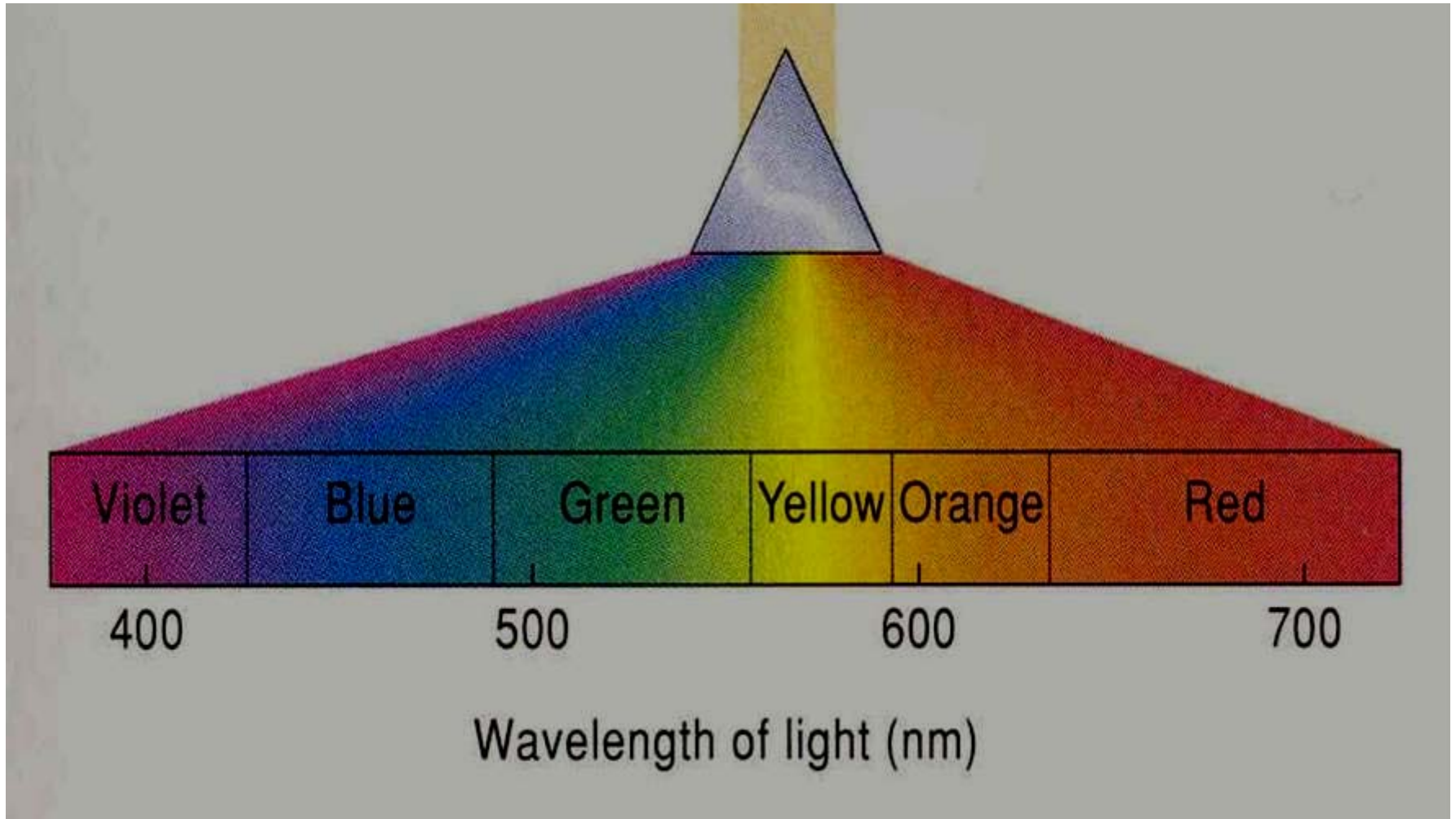


Chloroplasty



Obr. 1: Schéma struktury chloroplastu: prostorová představa z boku odříznutého chloroplastu (dle Hesse 1983, upraveno).

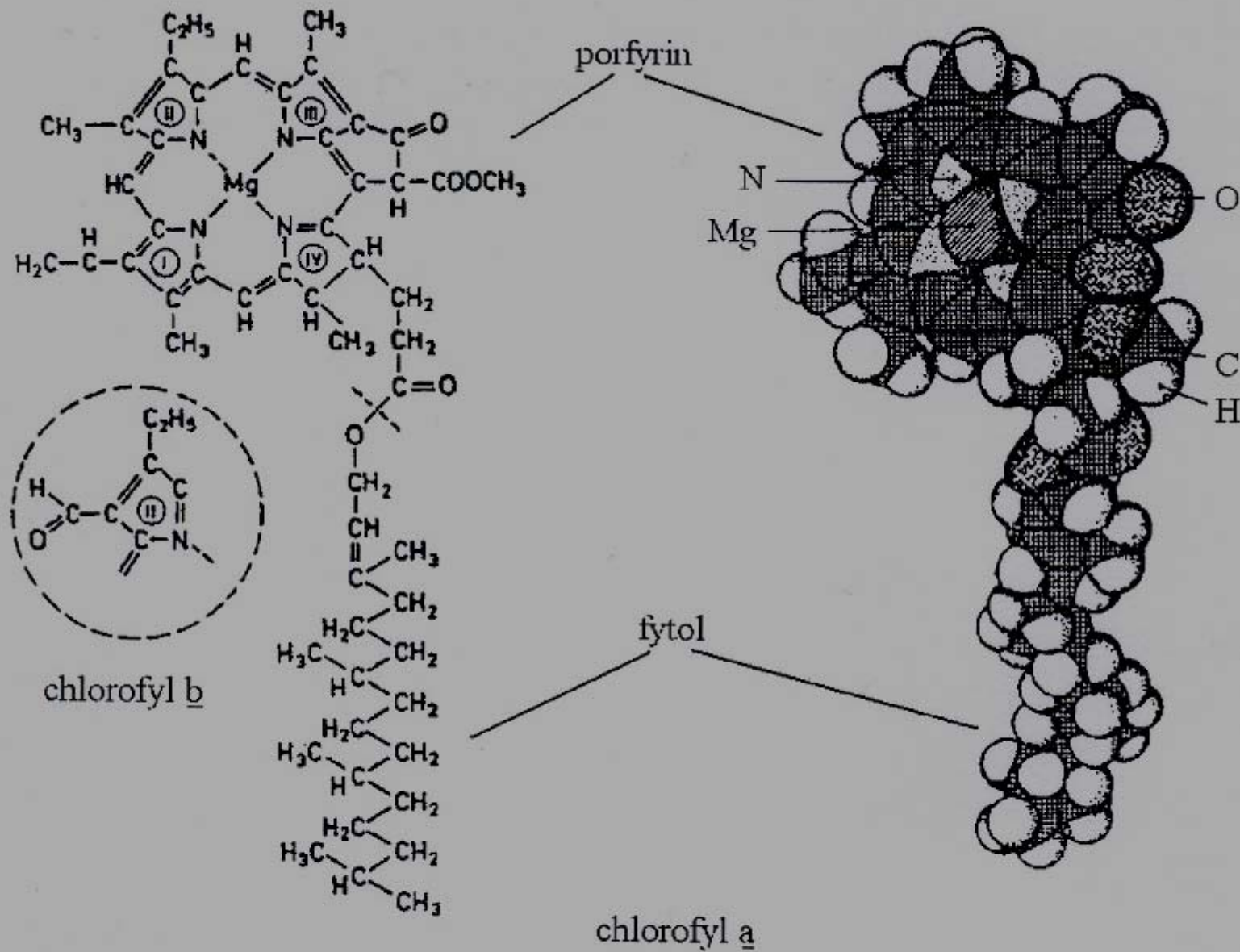
Fotosynteticky aktivní radiace (FAR)



Fotosyntetické pigmenty

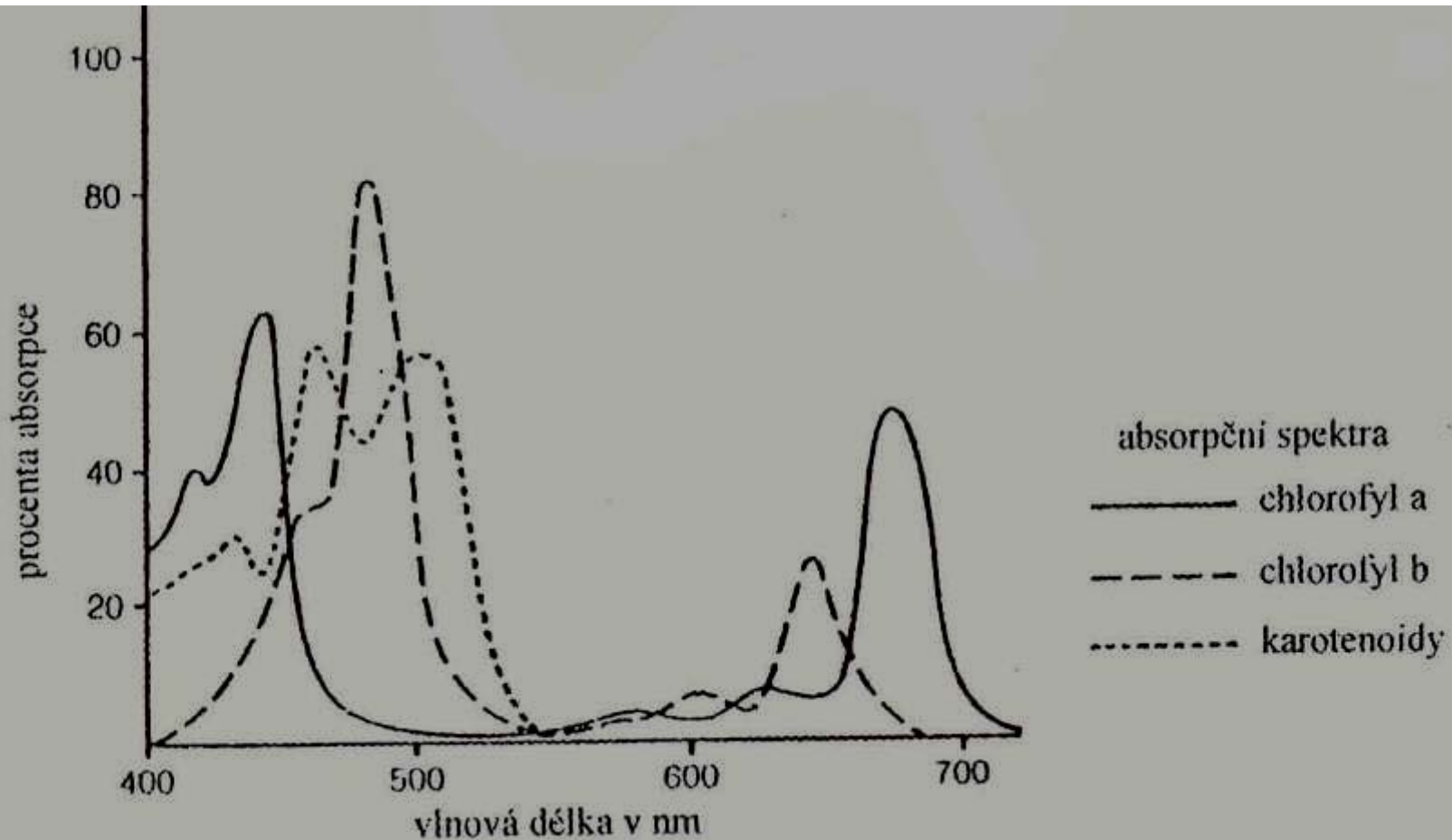
- Chlorofyly
- Karotenoidy
- Fykobiliny



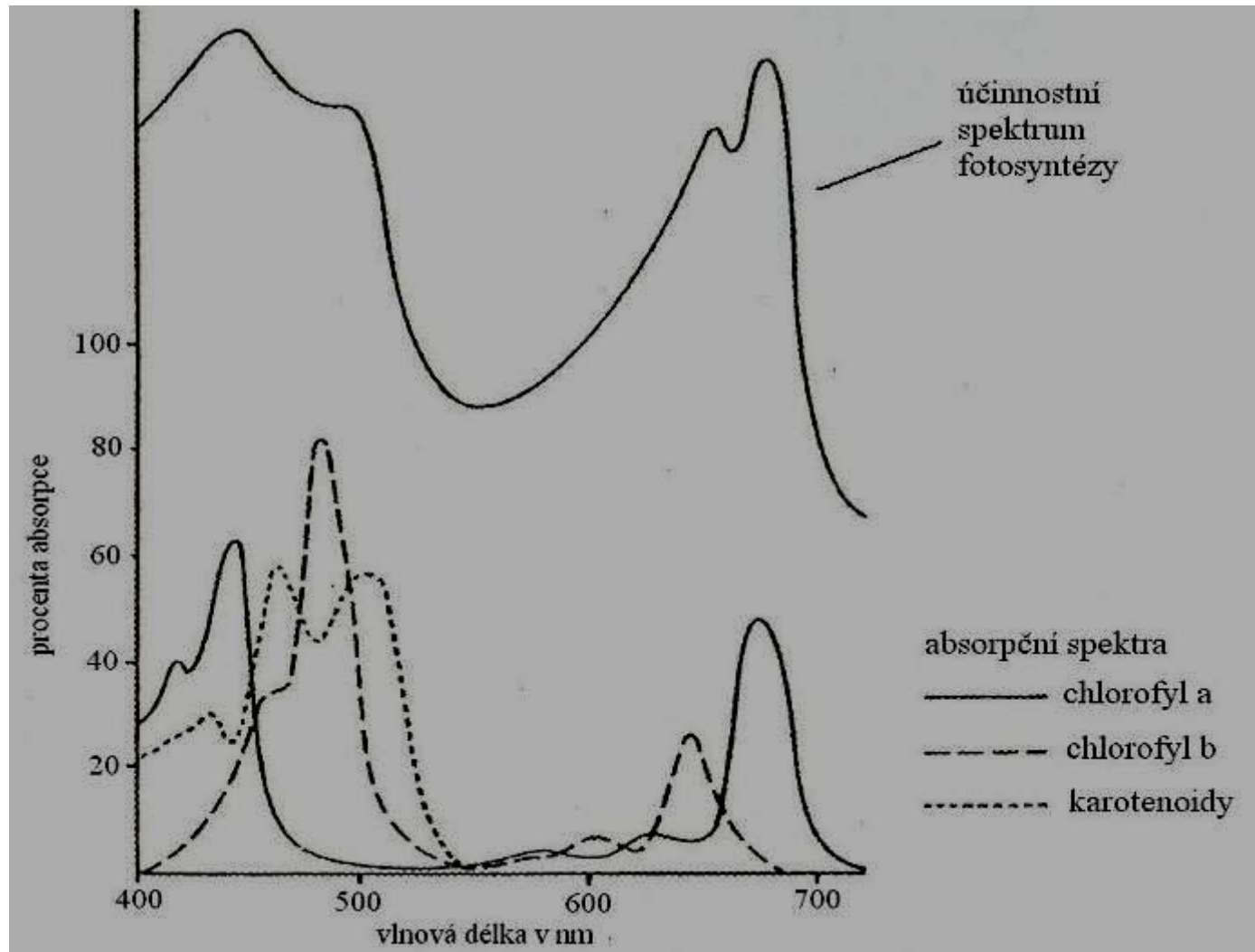


Obr. 2: Struktura chlorofylu (dle Mohra a Schopfera 1995, upraveno).

Absorpční spektra chlorofylů a a b a karotenoidů



Srovnání účinnostního spektra fotosyntézy s absorpčním spektrem chlorofylů a a b a karotenoidů (orig. Anonym, upravil Hejnák)

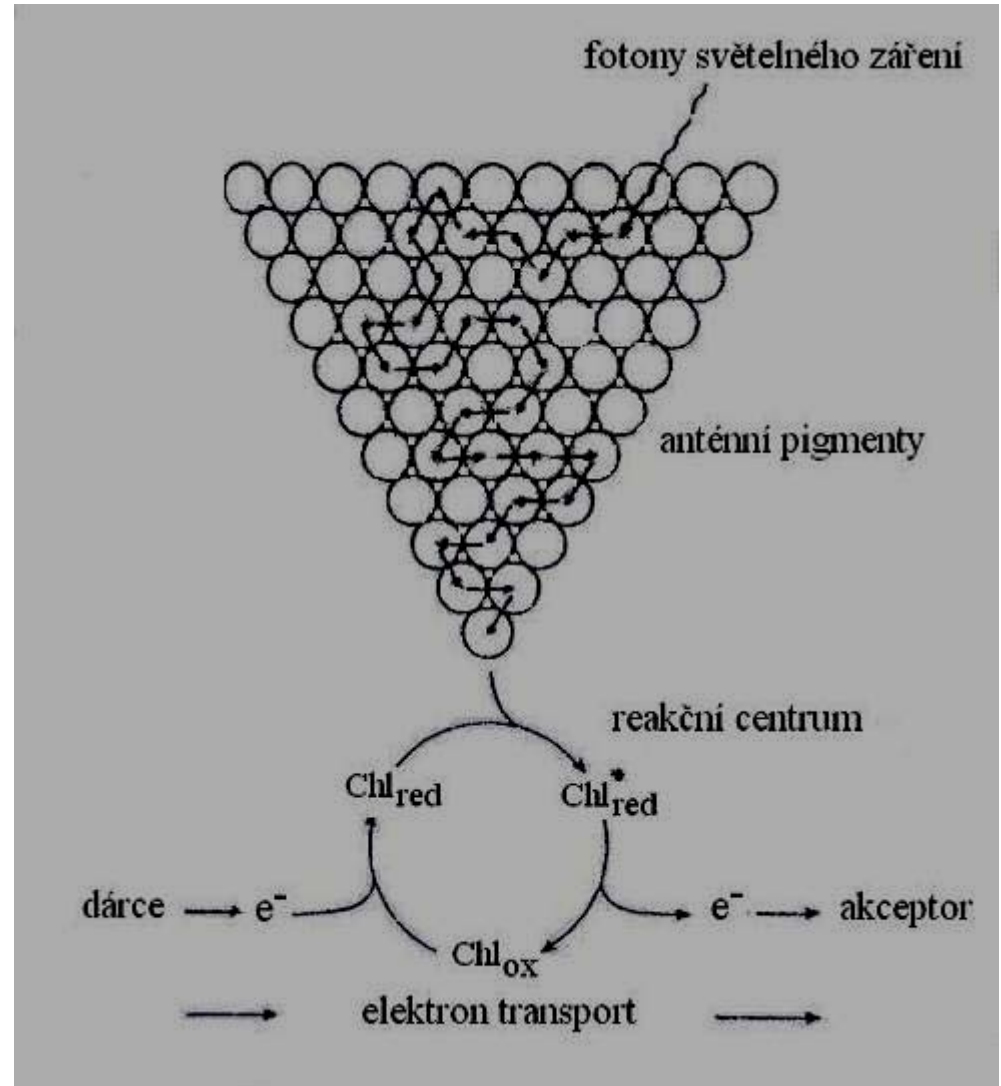


Světelná fáze fotosyntézy

- na membránách thylakoidů, kde se nacházejí 4 supramolekulární komplexy: PS II a PS I, komplex cytochromů b_6/f a ATP-syntáza,
 - cestou necyklické a cyklické fotofosforylace.
-

Model „zachycovacího centra“ fotosystémů I a II

- *Dopadající fotony jsou zachyceny „anténními pigmenty“ a předávány postupně až k reakčnímu centru s aktivním chlorofylem a, P700 u PSI a P680 u PSII (dle Mohra a Schopfera 1995, upraveno).*



Z-schéma transportu elektronů mezi fotosystémy II a I (dle Vodrážky 1993, upraveno)

Použité zkratky: P680 a P700 - reakční centra fotosystémů s terminálními pigmenty, Q a FeS - primární akceptory excitovaných elektronů, PQ (plastochinon), cyt b_6/f (cytochromy), PC (plastocyanin), Fd (ferredoxin) - přenašeče elektronů, Z - donor elektronů fotosystému II, K - komplex vyvíjející O_2

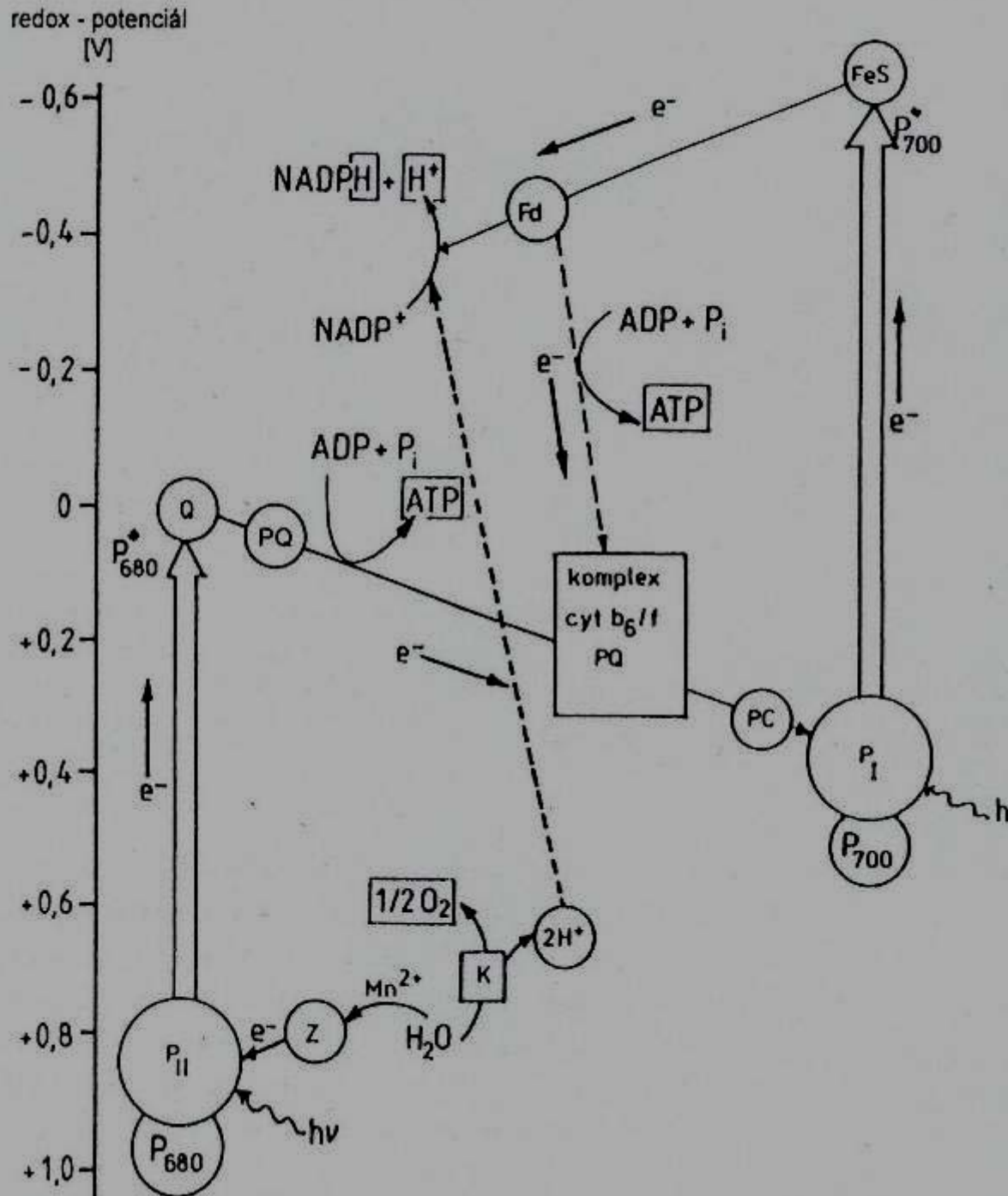
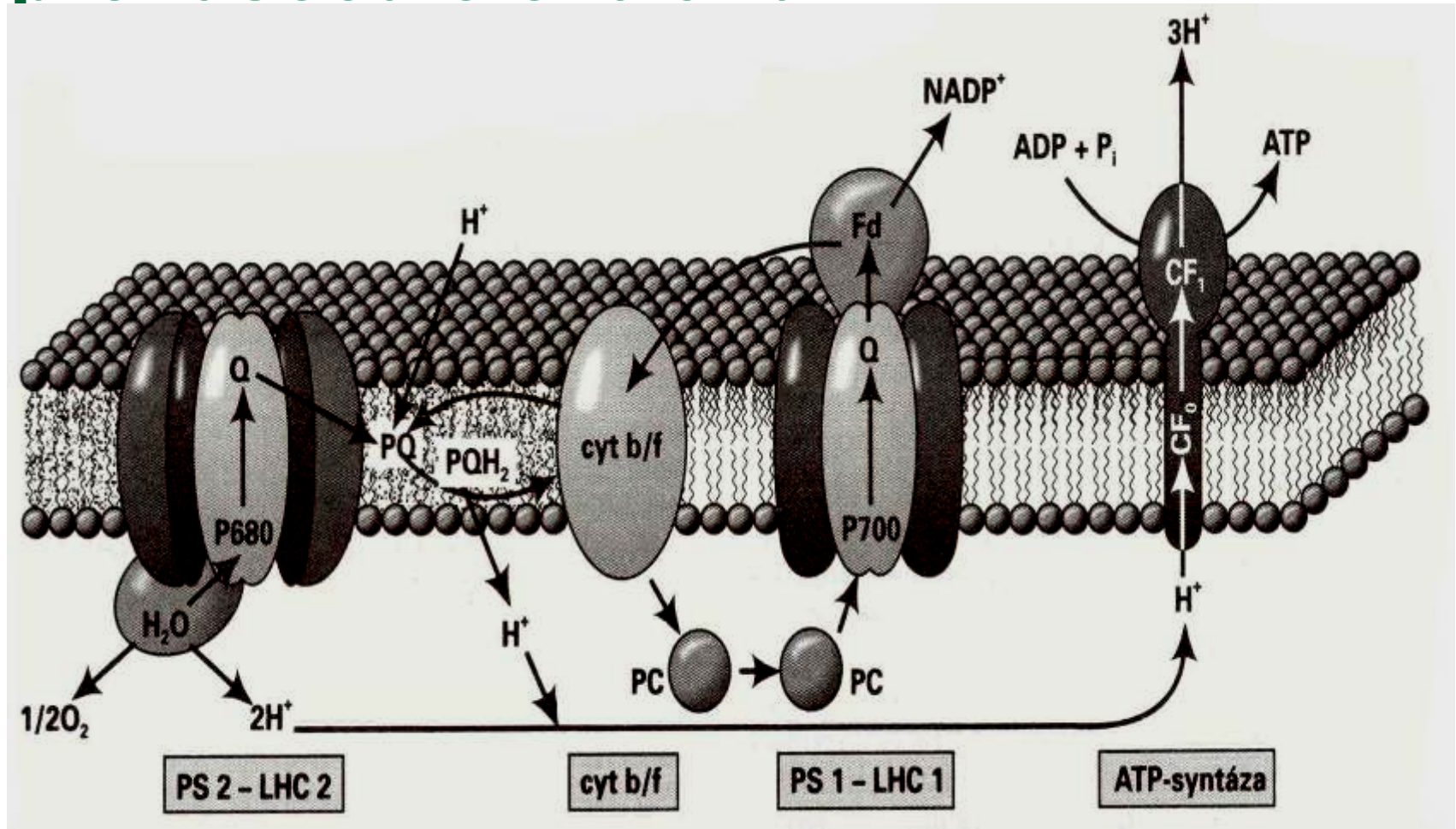
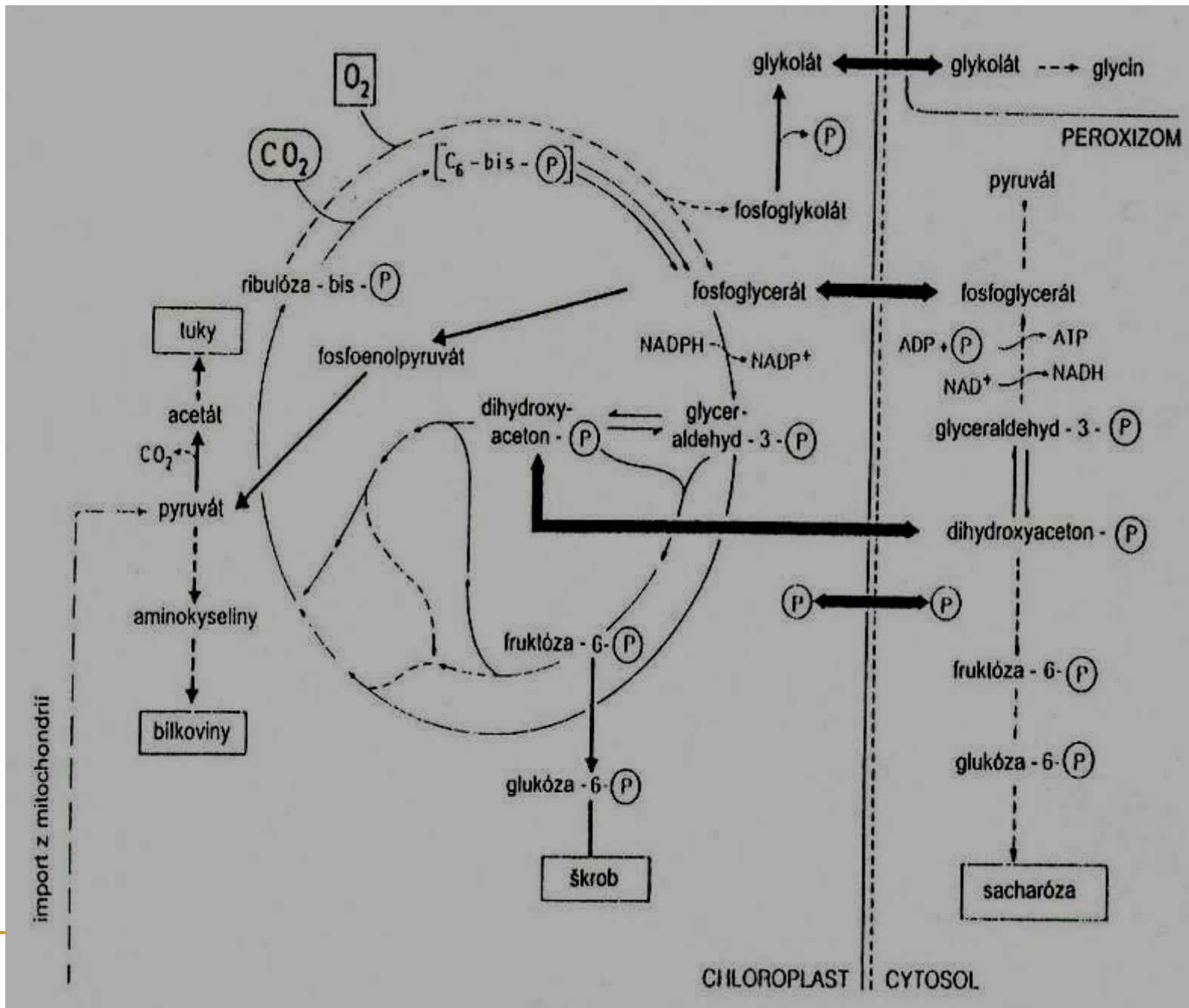


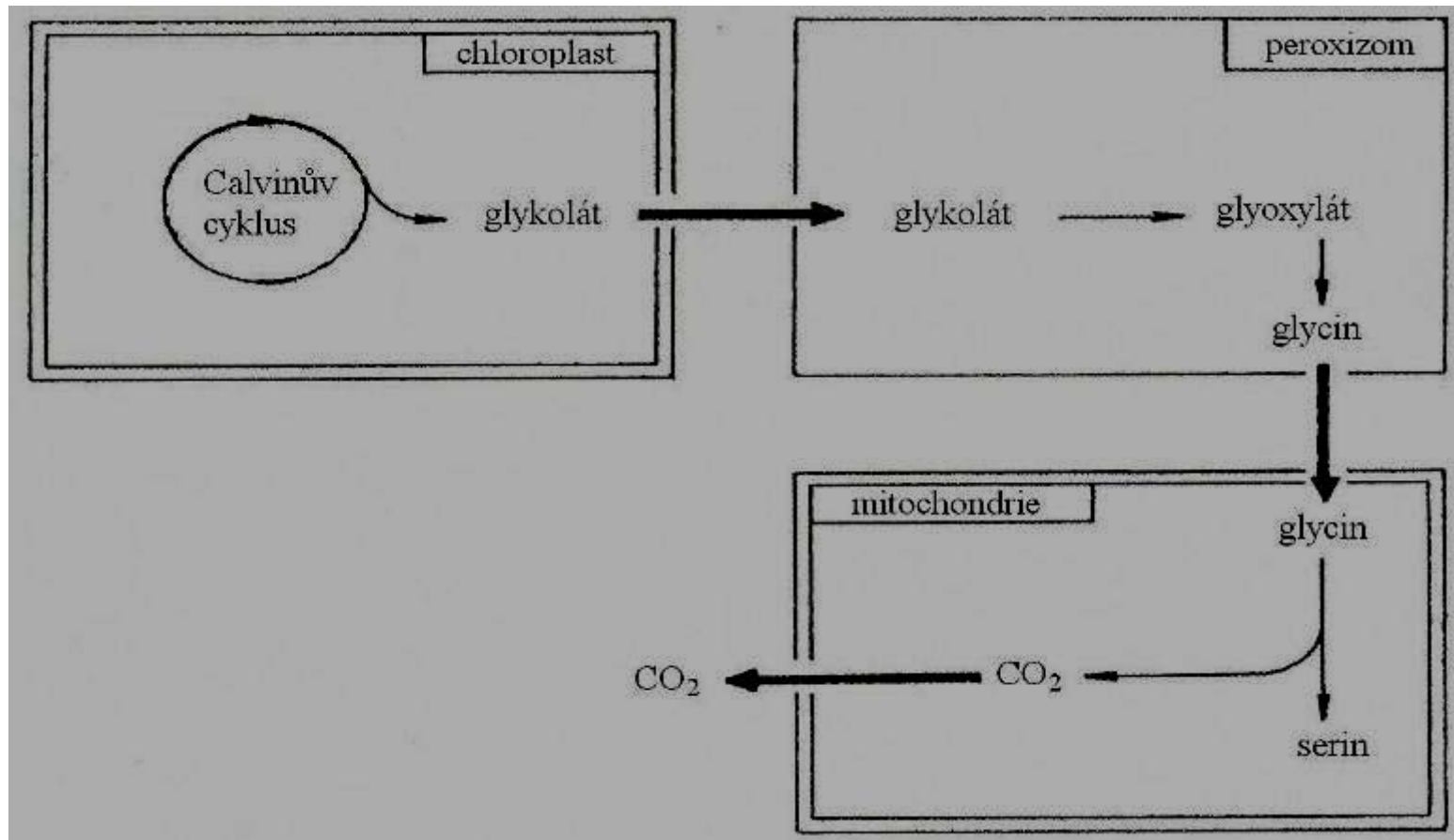
Schéma thylakoidní membrány a přenašečů elektronů





Calvinův cyklus a metabolizmus buňky (podle Mohra a Schopfera 1995, upraveno).

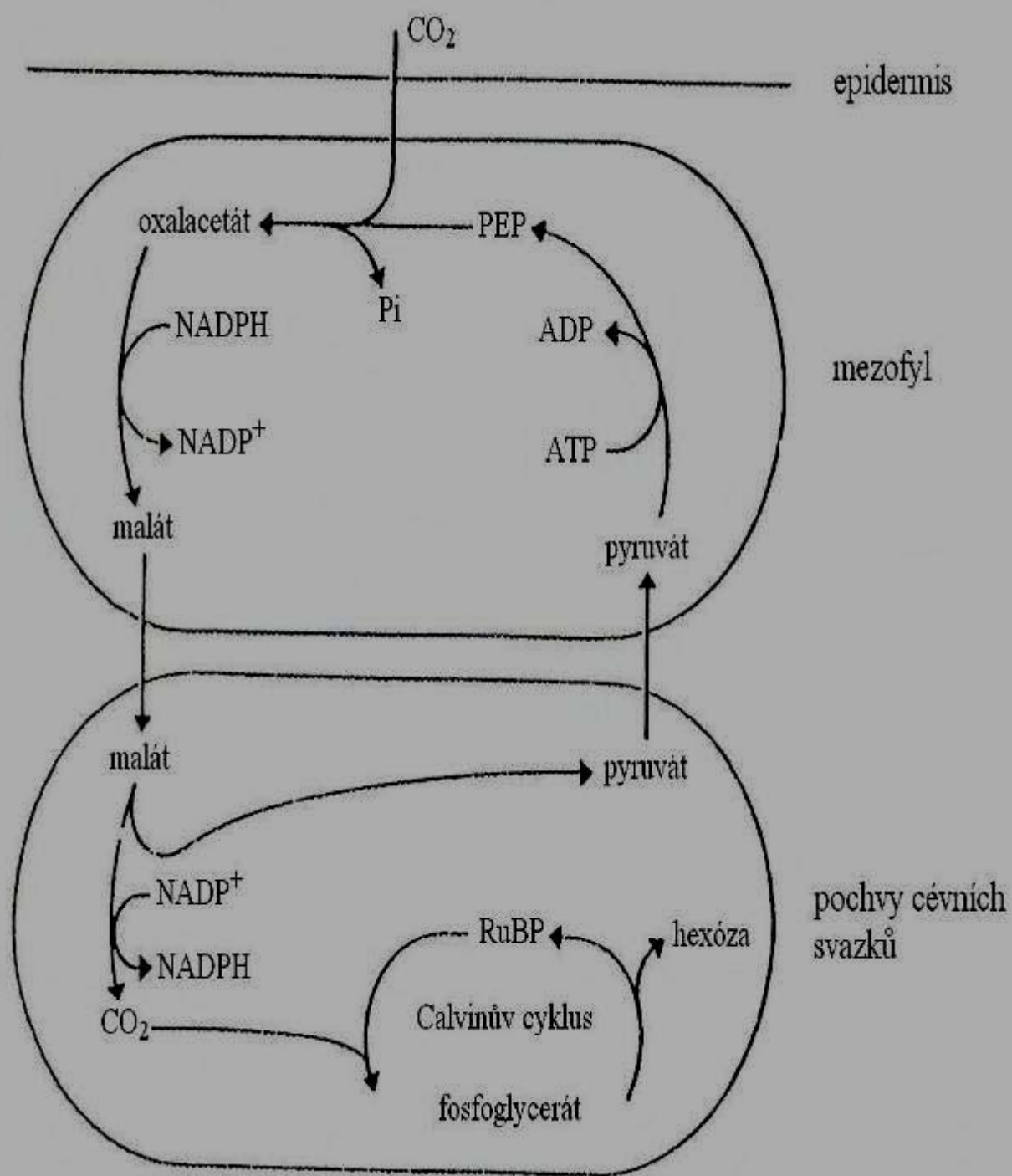
Fotorespirace u C3-rostlin



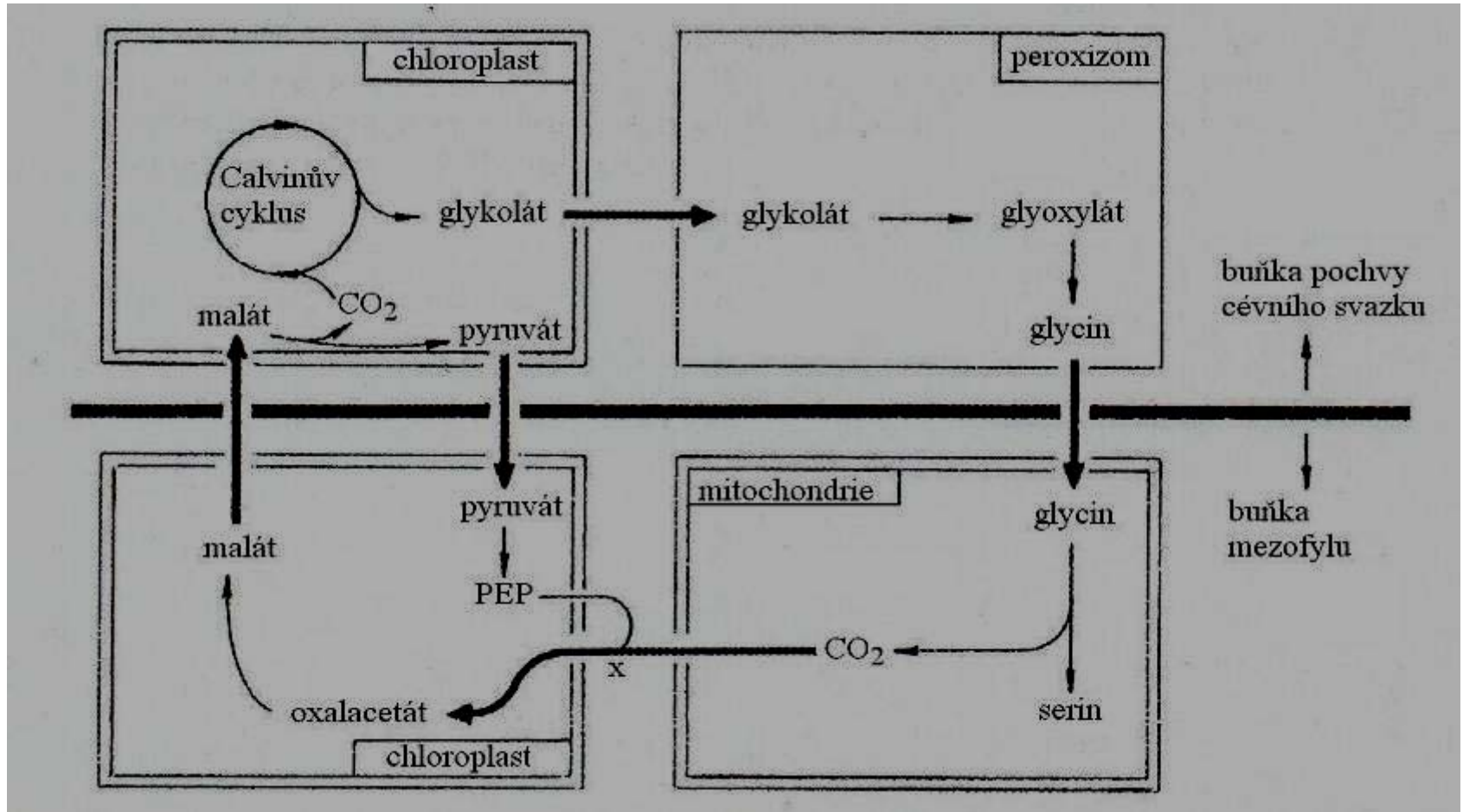
- Schéma fotorespirace u C3-rostlin (dle Hesse 1983, upraveno).

Hatch-Slackův cyklus (C4-cyklus)

- *Hatch - Slackův cyklus (orig. Anonym, upravil Hejtnák).*

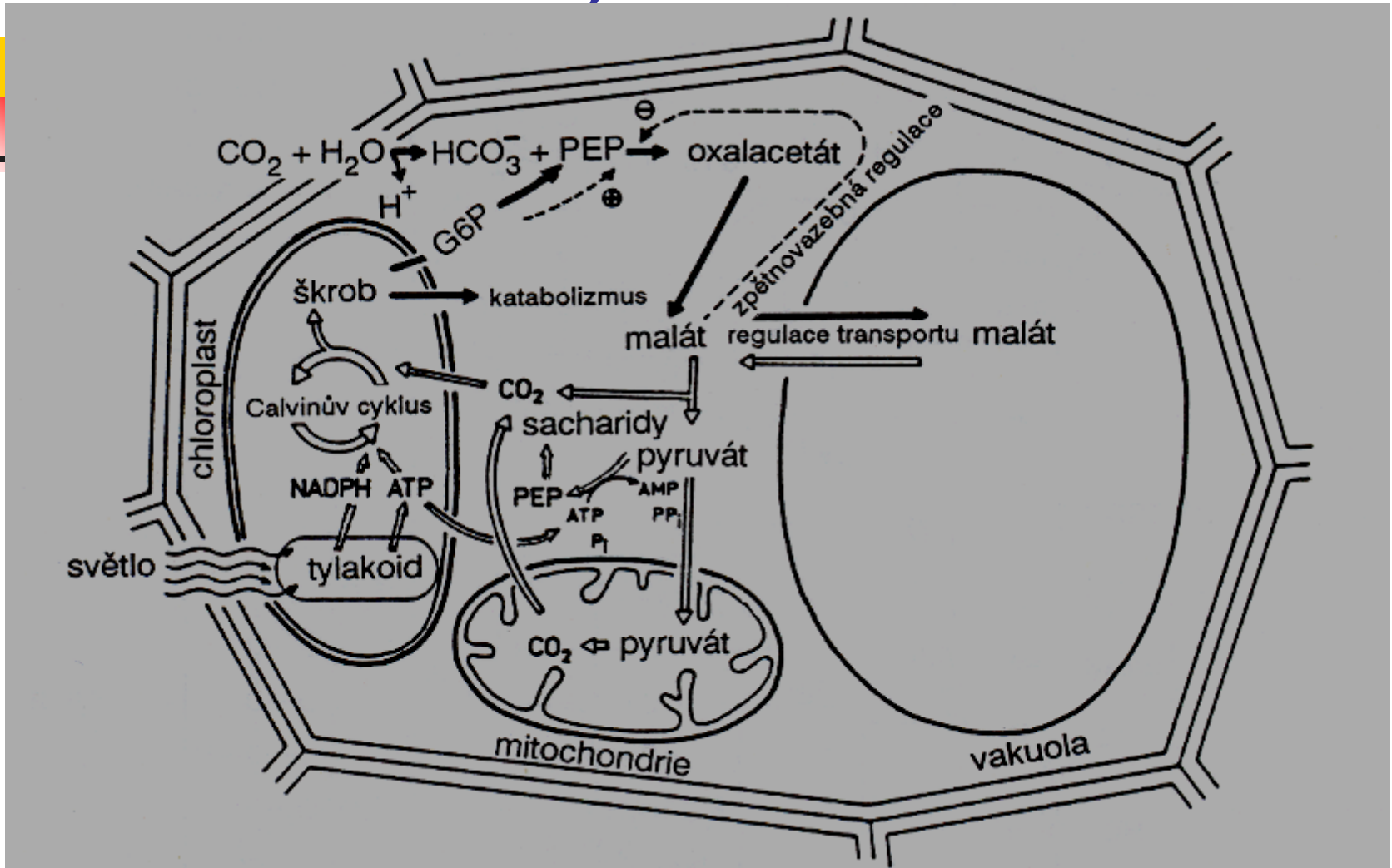


Fotorespirace u C4-rostlin



- Schéma fotorespirace u C4-rostlin s napojeným C4-cyklem fixace CO₂ (dle Hesse 1983, upraveno).

CAM syndrom (denní cyklus organických kyselin u sukulentů)



- *Fotosyntetický metabolismus rostlin CAM. Tmavými šipkami jsou naznačeny procesy probíhající ve tmě a světlými šipkami jsou naznačeny procesy probíhající na světle (dle Nungessera et al. 1985, upraveno).*

Fyziologické a strukturní znaky C3, C4 a CAM rostlin

Znak	C3-rostliny	C4-rostliny	CAM rostliny
Podmínky na přirozených stanovištích	mírné klima	sucho, vysoká intenzita slunečního záření, nízká relativní vzdušná vlhkost	aridní podmínky - sucho, vysoká intenzita slunečního záření, vysoké denní a nízké noční teploty
Struktura listu	mezofyl většinou rozlišen na palisádový a houbový parenchym	mezofyl s parenchymatickými pochvami kolem cévních svazků (věnčité uspořádání asimilačních buněk)	buňky mezofylu s velkými vakuolami
Struktura chloroplastů	granální	v mezofylu granální, v buňkách pochev cévních svazků agranální	granální
Poměr chlorofylů $a : b$	asi 3 : 1	asi 4-5 : 1	asi 3 : 1 nebo užší
Primární akceptor CO ₂	RuBP	PEP	PEP
Enzymy fixující CO ₂	Rubisco	PEP-karboxyláza a následně Rubisco (prostorové oddělení)	PEP-karboxyláza a následně Rubisco (časové oddělení)
Primární produkt fixace CO ₂	fosfoglycerát	oxalacetát	oxalacetát
Minimální potřeba ATP a NADPH pro fixaci 1 molekuly CO ₂	3 ATP a 2 NADPH	5 ATP a 2 NADPH	5 ATP a 2 NADPH

Fyziologické a strukturní znaky C3, C4 a CAM rostlin

Znak	C3-rostliny	C4-rostliny	CAM rostliny
Maximální rychlost fotosyntézy	nízká až střední (15-25 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	vysoká až velmi vysoká (30-40 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	velmi nízká (1-5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Fotorespirace	o 30 až 50% snižuje výtěžek fotosyntézy	velmi nízká nebo vůbec není	velmi malá
Nasycení (saturace) fotosyntézy světelným zářením	při středních hodnotách ozáření (100-200 W m^{-2})	až při nejvyšších hodnotách ozáření (400-600 W m^{-2})	již při velmi nízkých hodnotách ozáření (40-60 W m^{-2})
Kompenzační koncentrace CO_2 v prostředí	45-60 $\mu\text{l l}^{-1}$	méně než 5 $\mu\text{l l}^{-1}$	variabilní kolem 200 $\mu\text{l l}^{-1}$
Teplotní optimum pro fotosyntézu	18-25°C	28-35°C	asi 40°C
Teplotní minimum pro fotosyntézu	kolem 0°C	asi 5-10°C	
Transpirační koeficient	450-900 g H_2O na 1 g sušiny	200-350 g H_2O na 1 g sušiny	45-55 g H_2O na 1 g sušiny
Transport asimilátů z listů	pomalý	rychlý	proměnlivý
Maximální rychlost tvorby sušiny	střední (0,5-2,0 g na 1 dm^2 za den)	vysoká (4-5 g na 1 dm^2 za den)	velmi nízká (0,012-0,020 g na 1 dm^2 za den)

Rychlost fotosyntézy

- **Rychlost čisté fotosyntézy (P_N) =**
= rychlost hrubé fotosyntézy – rychlost celkového dýchání

Rychlost hrubé fotosyntézy (produkce fotosyntézy) vyjadřuje množství CO_2 zpracovaného karboxylačními enzymy.

Rychlost celkového dýchání vyjadřuje množství uvolněného CO_2 v procesu mitochondriální respirace a fotorespirace.

Faktory ovlivňující rychlost fotosyntézy

Vnitřní faktory

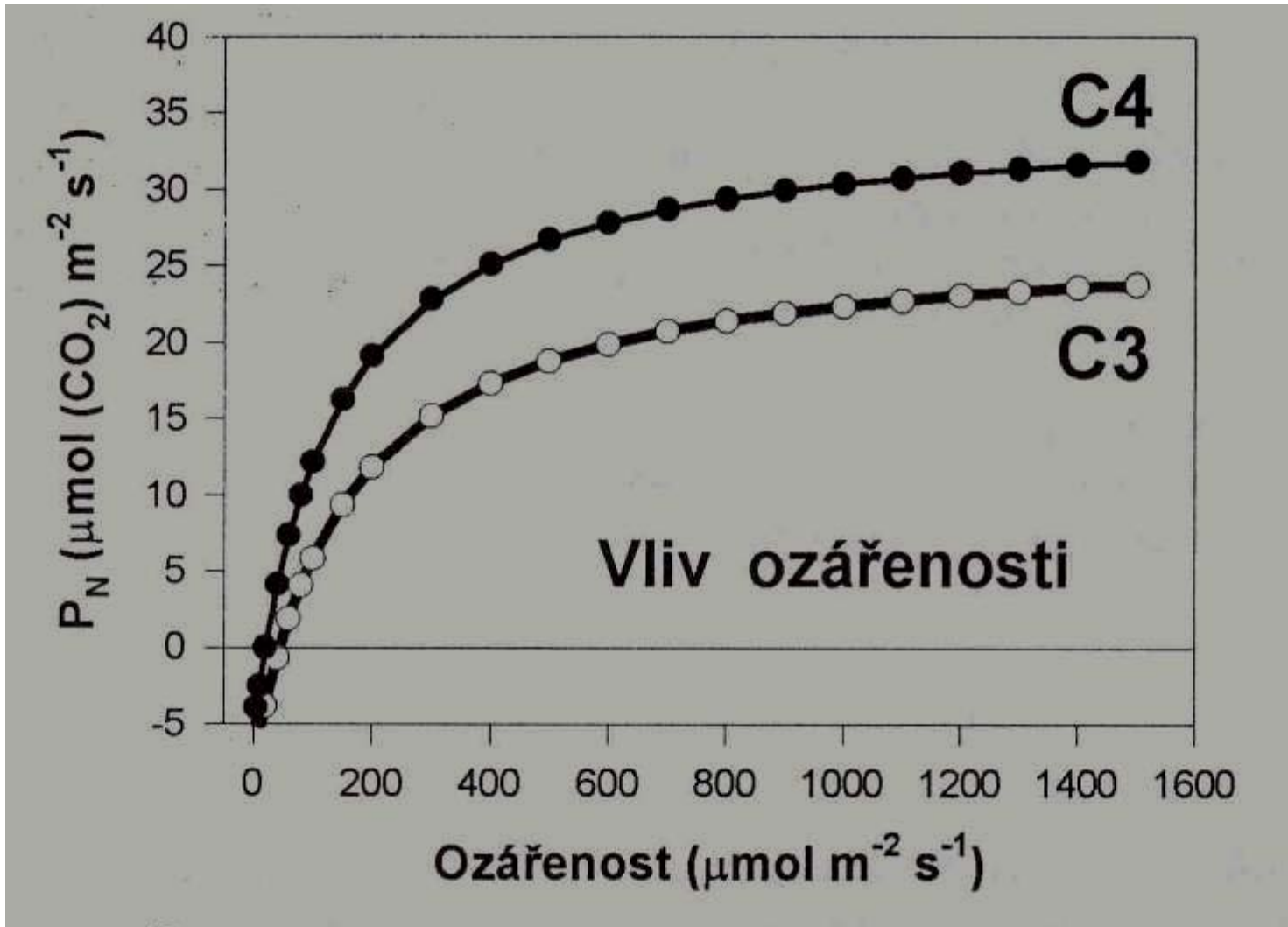
- anatomické a morfologické uspořádání asimilačních orgánů, především obsah a poměr chlorofylů (tzv. **chlorofylový kompenzační bod**),
 - stáří listů (tzv. **fotosyntetická dospělost**).
-

Faktory ovlivňující rychlost fotosyntézy

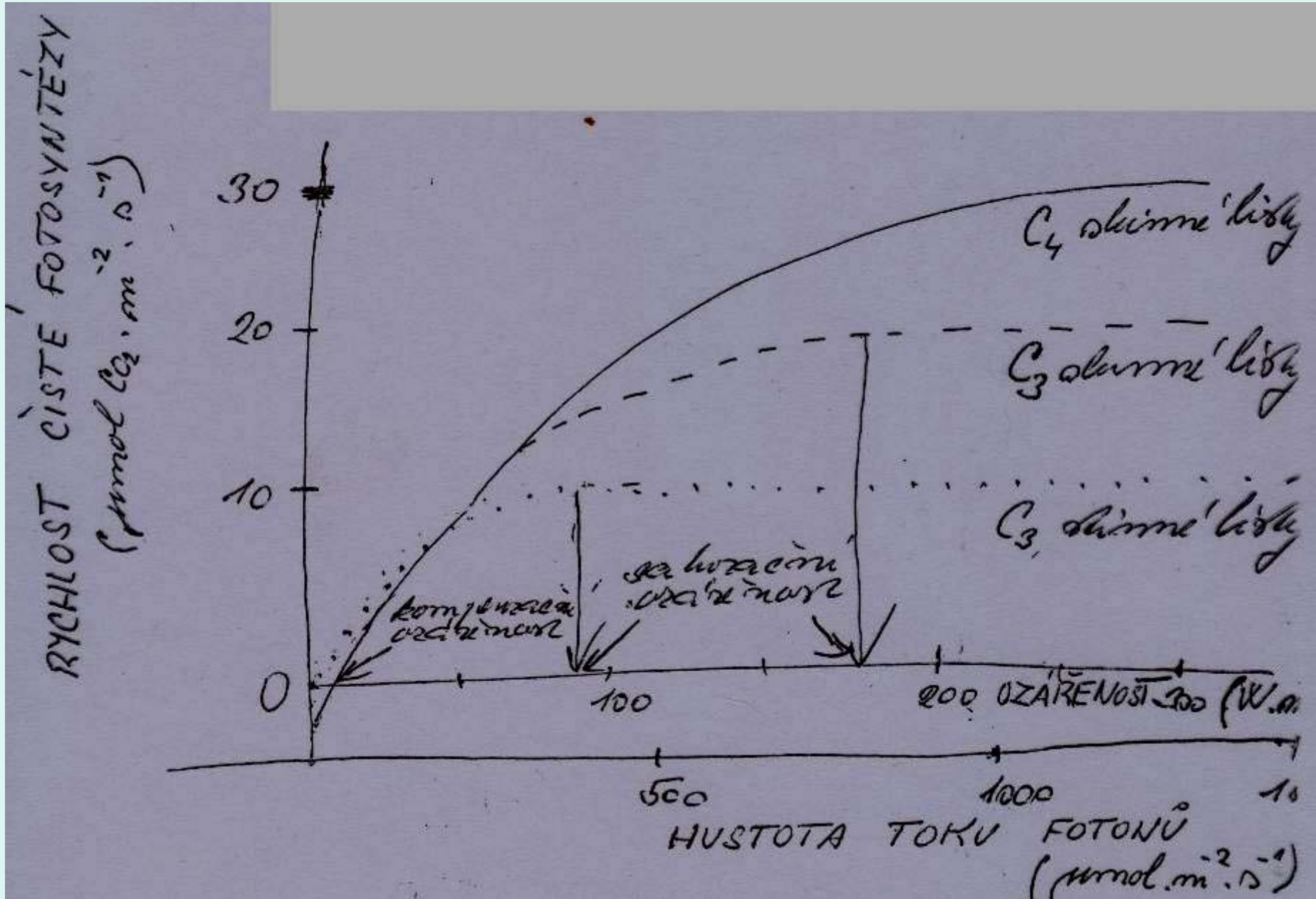
Vnější faktory

- intenzita a spektrální složení světelného záření (**kompensační a saturační ozáření**),
 - koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře,
 - teplota prostředí,
 - dostupnost vody pro rostliny,
 - minerální metabolismus rostlin.
-

Světelná křivka fotosyntézy



Světelná křivka fotosyntézy



Záření ve vztahu jeho vlnové délky k energii fotonů

Spektrální oblast (barva)	Vlnová délka (nm)	Energie fotonů (kJ.mol ⁻¹ fotonů)
Ultrafialová	100 - 400	
UV-C	100 - 280	471
UV-B	280 - 320	399
UV-A	320 - 400	332
Viditelná	400 - 740	
fialová	400 - 425	290
modrá	425 - 490	274
zelená	490 - 550	230
žlutá	550 - 585	212
oranžová	585 - 640	196
červená	640 - 700	181
dlouhovlnná červená	700 - 740	166
Infračervená	delší než 740	85

Využití FAR porostem polních plodin

- Okamžité maximální hodnoty přeměny zářivé (sluneční) energie v rostlině se pohybují v rozmezí 4 – 6% u polních plodin v našich podmínkách. V subtropických oblastech u kukuřice jako C4-rostliny až 9%.
 - Celoroční průměr přeměny zářivé energie u rostlin je mnohem nižší a dosahuje asi 0,5% (maximálně 1 až 2%).
-

Vztah mezi využitím FAR porostem polních plodin a jejich výnosem v našich podmínkách (dle *Kostreje 1992*)

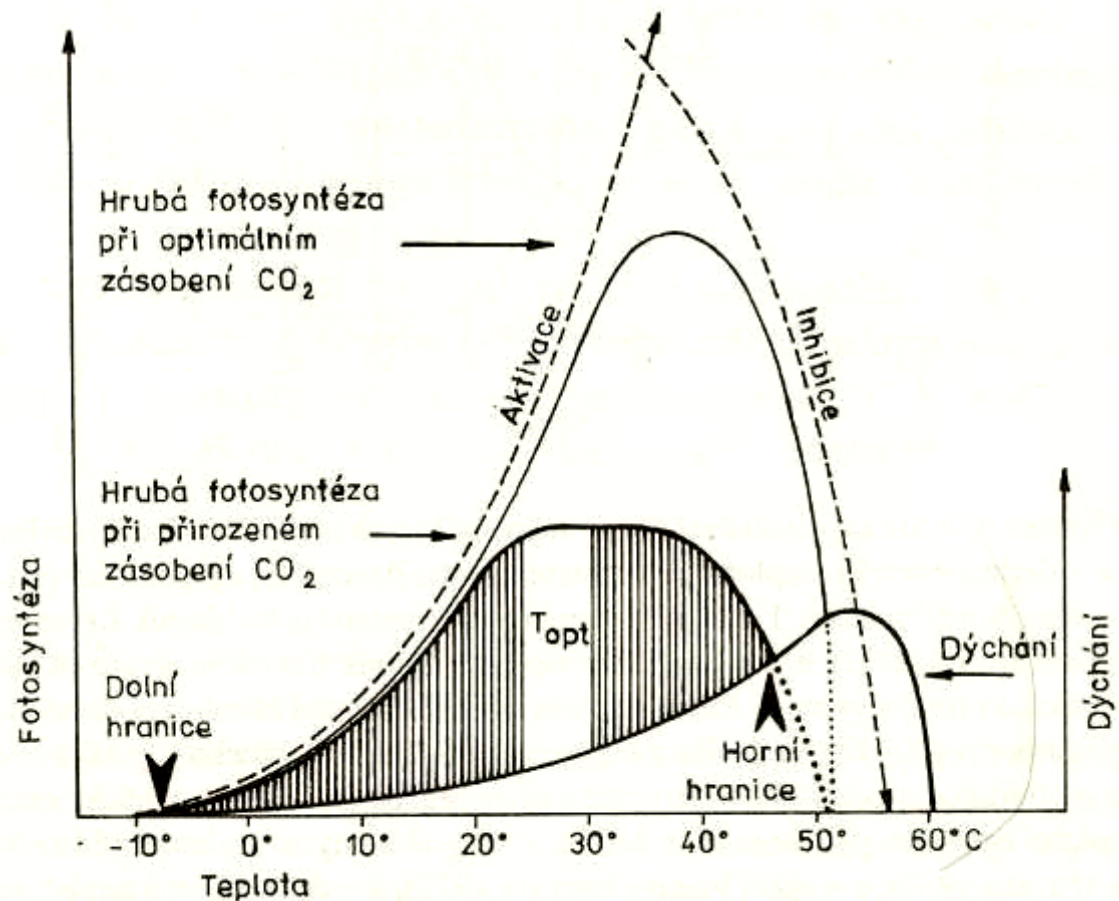
Celovegetační využití FAR (%)	Výnos
0,5 - 1	nízký
1 - 2	střední
3 - 4	vysoký
4 - 5	velmi vysoký

Závislost čisté fotosyntézy na teplotě při „nasycení“ světelným zářením a přirozené konc. CO₂ ve vzduchu

	Tepl. min.	Tepl. opt.	Tepl. max.
C ₄ -rostl.	+5 až +7	35-45	50-60
C ₃ -rostl.	-2 až +0	20-30	40-50
halofyty mřížovina	-2 až 0	20-30	40-50
sciofyty mřížovina	-2 až 0	10-20	am 40
CAM-rostl. (ficus (O ₂ v noci) - 2 až 0		5-15	25-30
opadavé stromy mřížovina	-3 až -7	15-25	40-45
stálezelné žehličnany	-5 až -7	10-25	35-42
lišejníky chladných oblastí	(-25) - (-15) až -10	5-15	20-30
termofilní řasy	+20 až +30	45-55	65-70

Schéma závislosti fotosyntézy a dýchání na teplotě

- Hrubá fotosyntéza se při aktivaci enzymů zvyšuje do té míry, až inhibiční účinek tepla začne fotosyntetickou aktivitu enzymů snižovat. Rozdíl mezi hrubou fotosyntézou a dýcháním je čistá fotosyntéza (šrafovaná plocha). Při vysokých teplotách rychlost fotosyntézy prudce klesá a současně se zrychluje dýchání.



Metody měření rychlosti fotosyntézy

Metody gazometrické

- stanovení změn rychlosti absorpce CO_2
- stanovení rychlosti výdeje kyslíku

Metody gravimetrické

- měření rychlosti tvorby produktů fotosyntézy
 1. Sachsova metoda polovin listů
 2. Terčíková metoda

Metody kalorimetrické

- stanovení množství fixované energie

Růstová analýza
