

Cyklus uhlíku

Respirační procesy v ekosystémech

Složení suché a čisté atmosféry u povrchu Země

(obsah v objemových procentech)

Dusík	N ₂	78,084
Kyslík	O ₂	20,947 6
Argon	Ar	0,934
Oxid uhličitý	CO ₂	0,036 0
Neon	Ne	0,001 818
Hélium	He	0,000 524
Metan	CH ₄	0,000 2
Krypton	Kr	0,000 114
Vodík	H ₂	0,000 05
Oxid dusný	N ₂ O	0,000 05
Xenon	Xe	0,000 008 7
Oxid siřičitý	SO ₂	0 až 0,000 1
Ozón	O ₃	0 až 0,000 007
Oxid dusičitý	NO ₂	0 až 0,000 002
Čpavek	NH ₄	stopy
Oxid uhelnatý	CO	stopy
Páry jódu	J ₂	stopy

Složení vzduchu se nemění cca do 100 km
výjimka je - ozón, maximum ve 22 km
- vodní páry do 10 km

Hmotnost atmosféry činí miliontinu hmotnosti Země
50 % hmotnosti atmosféry je do 5,5 km

Oxid uhličitý (CO₂)

vzniká při spalování, dýchání, kvašení apod
je těžší než vzduch, hromadí se ve sklepech, jeskyních, dolech...

v koncentraci 5-8 obj. % narušuje dýchací funkce

při koncentraci 9 obj. % nebezpečí ochrnutí dýchacích center

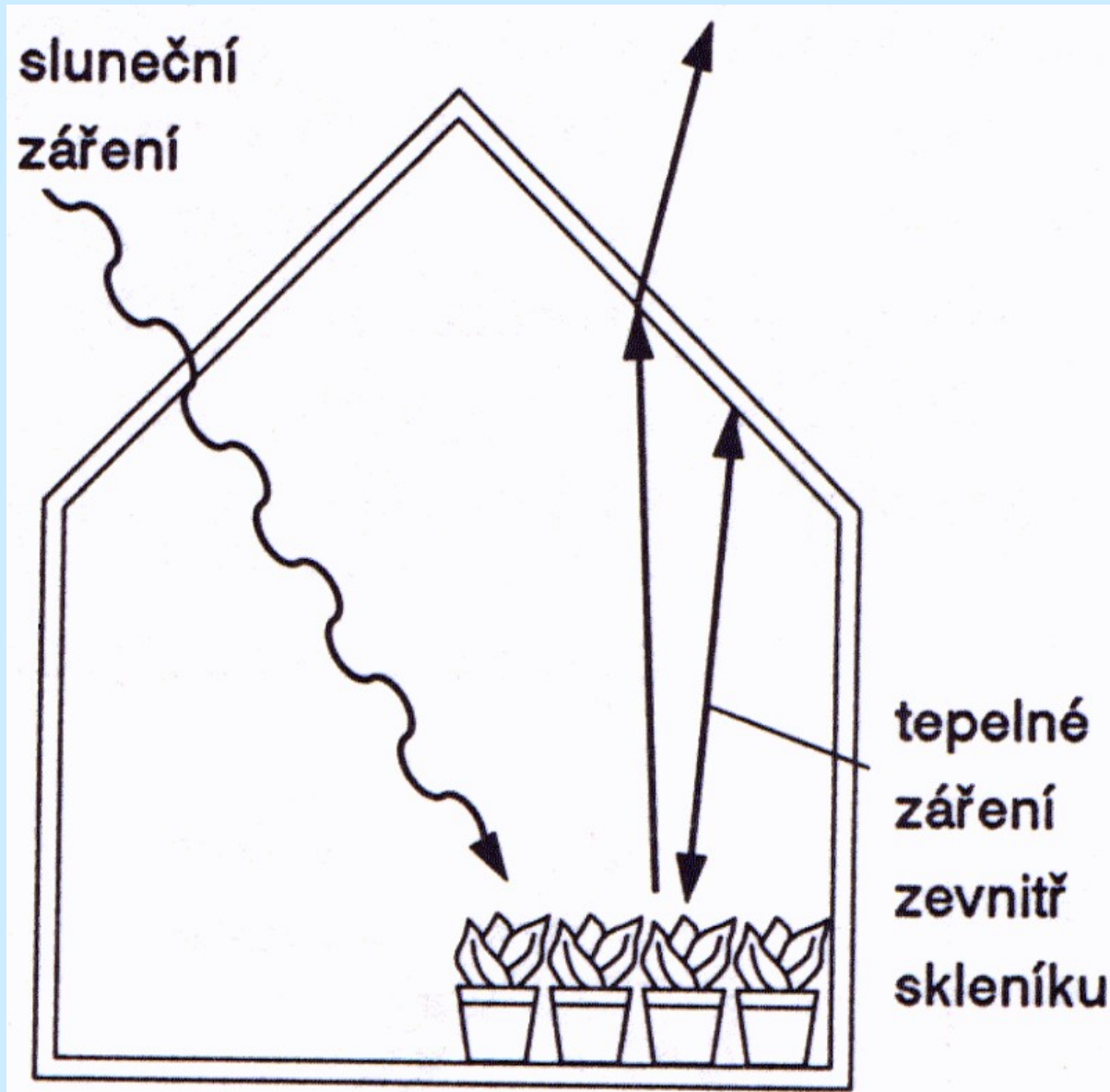
při koncentraci 15-18 obj. % po několika nadechnutích smrt

předindustriální období: koncentrace 280 ppm

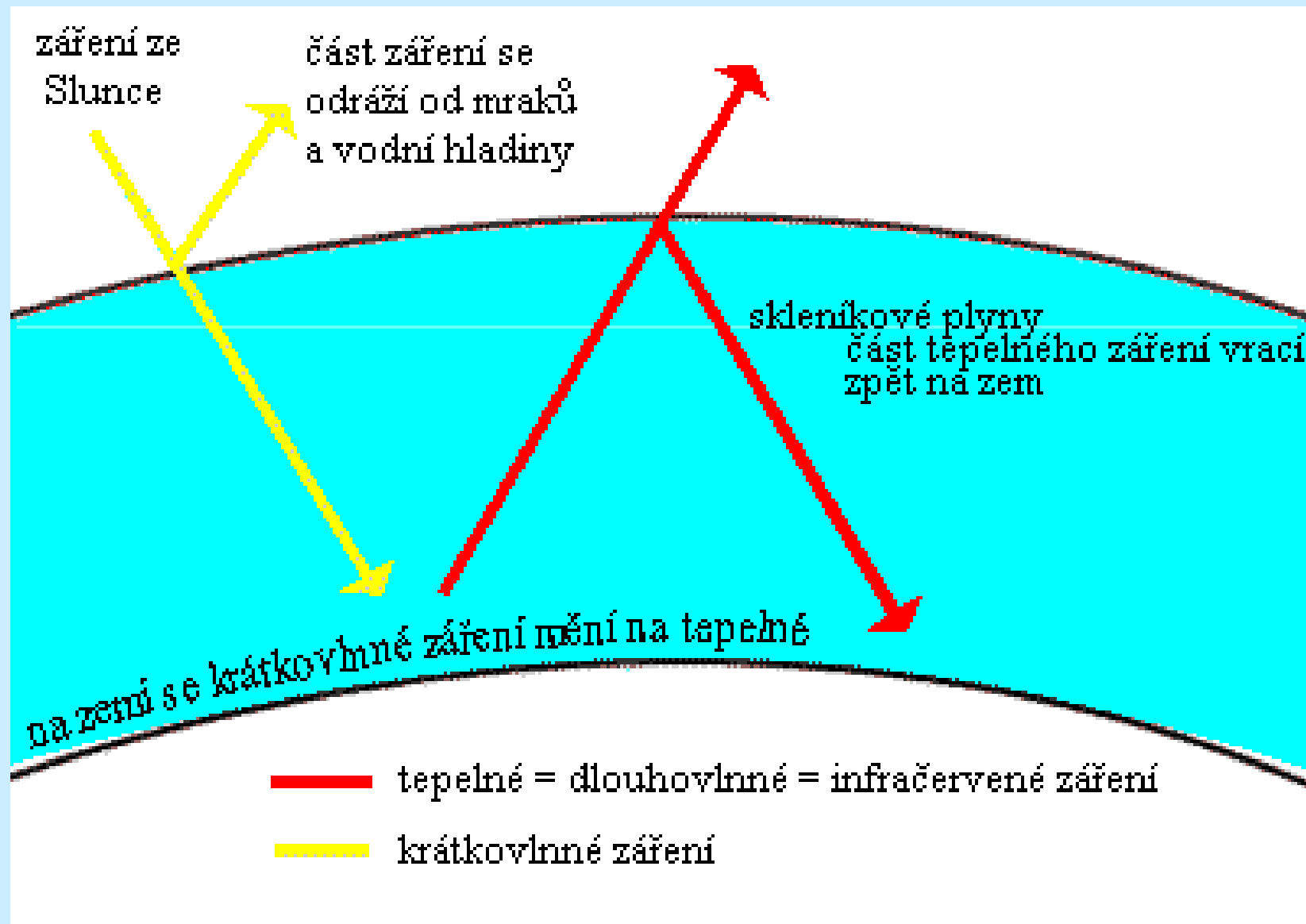
současnost: téměř 370 ppm

roční nárůst: 1,5 ppm

Skleníkový efekt



Skleníkový efekt



Efektivní radiační teplota

(průměrná teplota povrchu Země bez atmosféry)



-19 °C



Skutečná globální roční průměrná teplota zemského povrchu



15 °C



Skleníkový efekt atmosféry

vodní pára 60 – 70 %

CO₂ 25 %

oblaka vliv na dlouhovlnné i krátkovlnné záření

Tabulka skleníkových plynů

skleníko vý plyn	vzor ec	procentuální zastoupení v atmosféře	relativní účinnost	dosavadní nárůst	podíl na zvýšeném skleníkovém efektu
vodní pára	H ₂ O	0,2 - 3	1	?	kolem nuly
oxid uhličitý	CO ₂	0,036	1	31%	61%
metan	CH ₄	0,0002	50	20%	19%
oxid dusný	N ₂ O	0,00003	310	5%	6%
ozón	O ₃	proměnlivé	?	spíše úbytek	0%
halogen ované uhlovodí ky	CFC	$3 \cdot 10^{-8}$	asi 5000	veškeré množství v atmosféře	14% - nejisté
	HCFC	$1 \cdot 10^{-8}$	asi 5000		
	CF ₄	$1 \cdot 10^{-8}$	6500		
	HFC	10^{-10}	1300		

Hlavní pásma absorpce záření skleníkových plynů

(μm)

vodní pára 6,3 a 15 – 20

oxid uhličitý 4,3 a 15

metan 7 – 13

ozón 9,6 a 14,1

halogenované uhlovodíky 5 – 14

oxidy dusíku 5 – 14

„atmosférické okno“ 7 – 13

(zde se nenalézá žádný významný absorpční pás)

Koloběh uhlíku

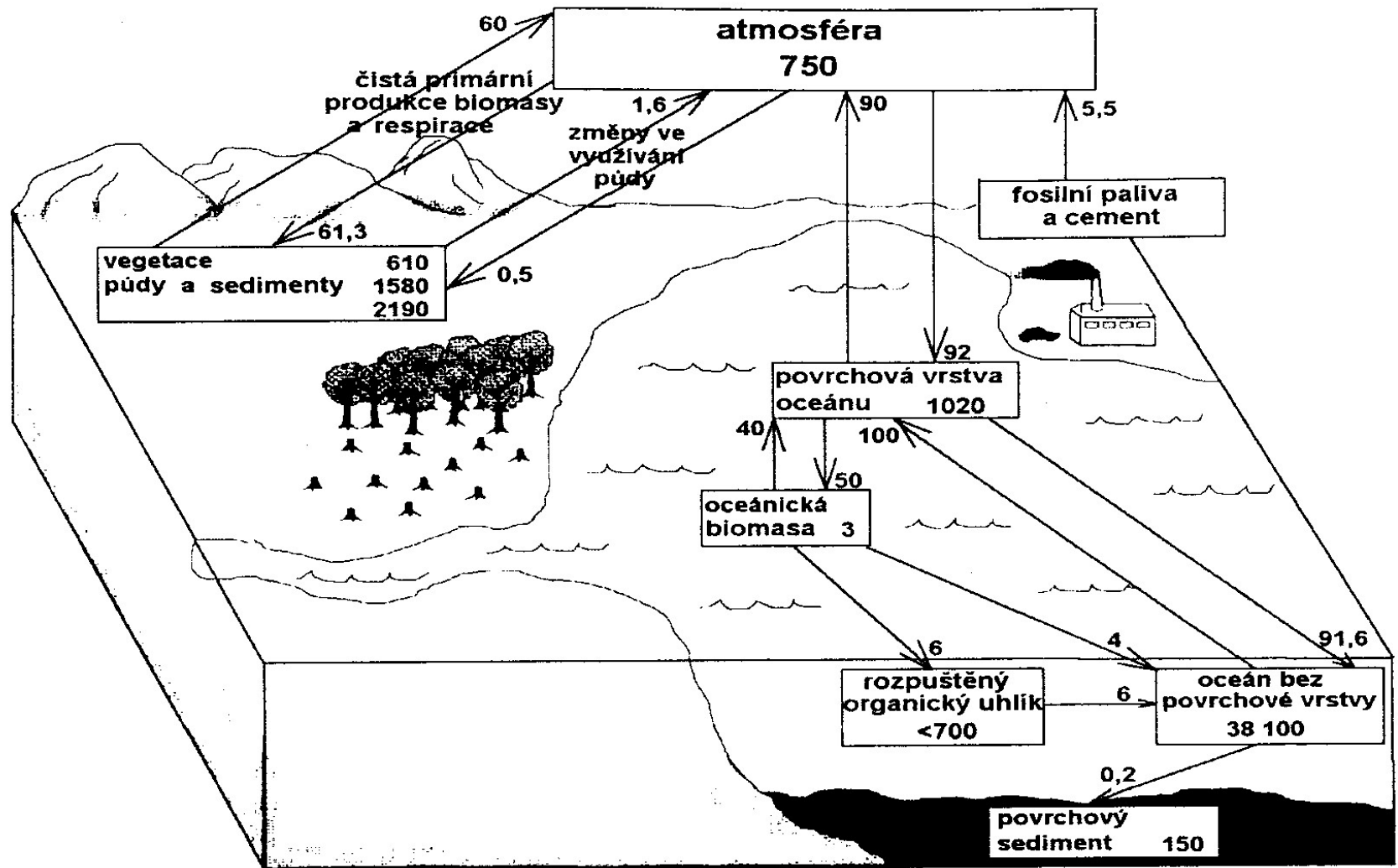
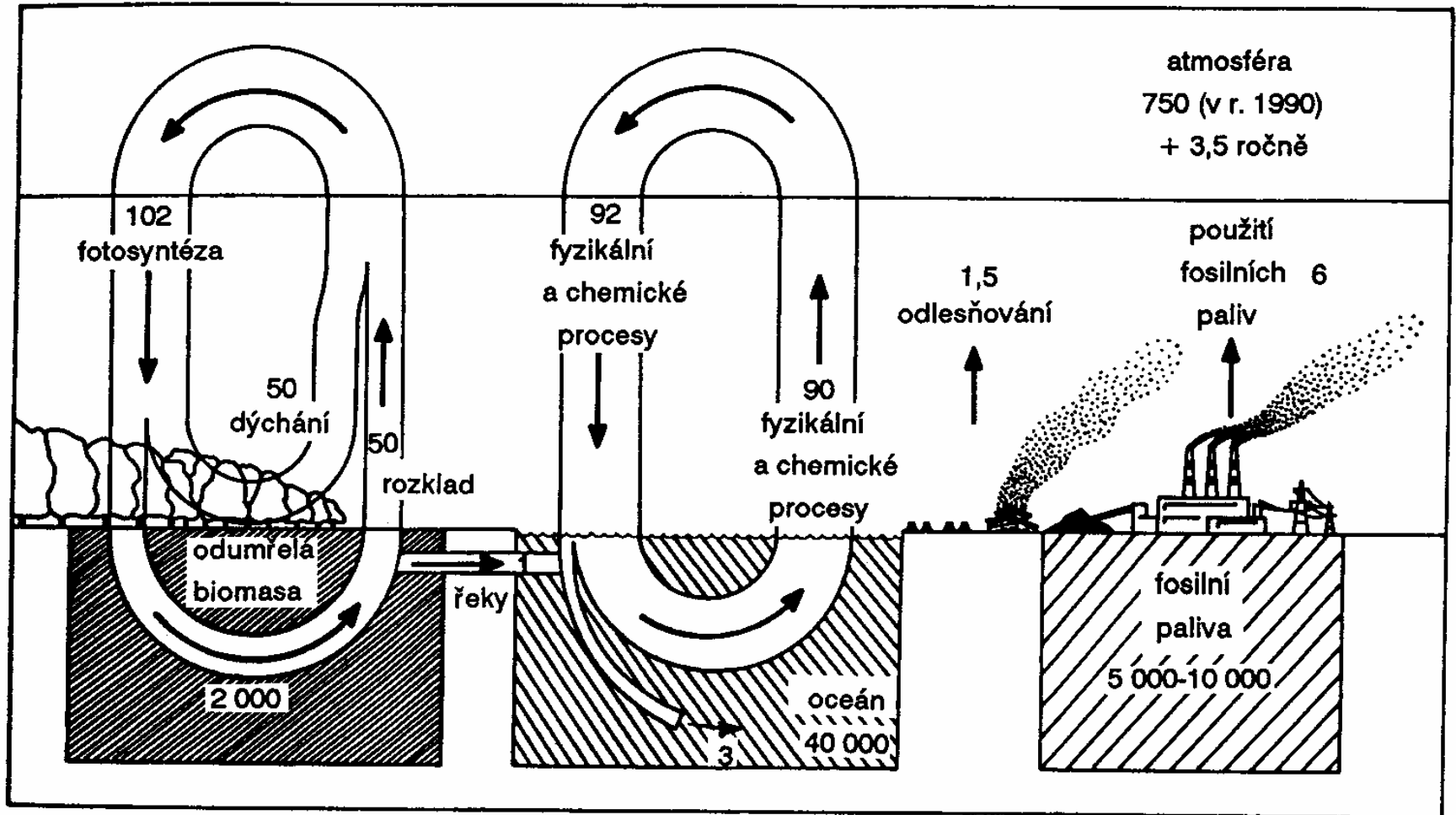


Schéma globálního uhlíkového cyklu. Rezervoáry jsou udávány v Gt C a toky v Gt C/rok.

Přepočty hmotnostních jednotek

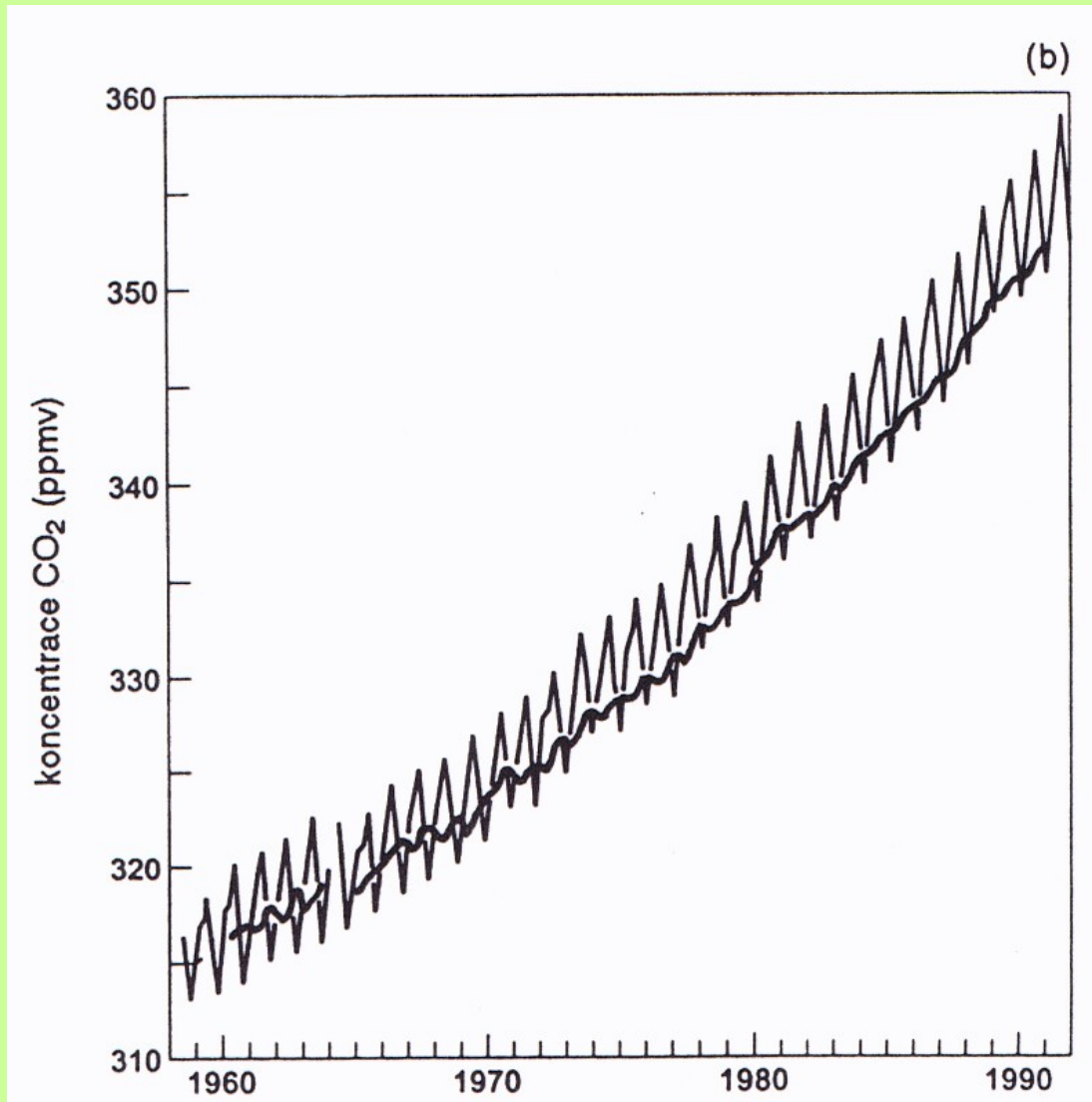
μg (μg)	g	kg	t	Pg = Gt
1	0	0.000000001	0.000000000001	0.0000000000000000000001
1 000 000	1	0.001	0.000001	0.0000000000000001
1 000 000 000	1 000	1	0.001	0.000000000001
1 000 000 000 000	1 000 000	1 000	1	0.000000001
1 000 000 000 000 000 000	1 000 000 000 000 000	1 000 000 000 000	1 000 000 000	1
1	1.E-06	1.E-09	1.E-12	1.E-21
1.E+06	1	1.E-03	1.E-06	1.E-15
1.E+09	1.E+03	1	1.E-03	1.E-12
1.E+12	1.E+06	1.E+03	1	1.E-09
1.E+21	1.E+15	1.E+12	1.E+09	1

Koloběh uhlíku



Zásobníky uhlíku na Zemi, tj. v biosféře, oceánech a atmosféře, a roční výměna oxidu uhličitého mezi zásobníky¹ (vyjádřeno jako hmotnost uhlíku obsaženého v oxidu uhličitém v miliardách tun nebo gigatunách (Gt)).

Koncentrace CO₂ v ovzduší



- ◆ 95 % spalování fosilních paliv se děje na severní polokouli
- ◆ změna atmosférické koncentrace C o 10 % znamená změnu koncentrace ve vodě o 1 %
- ◆ čtvrtina celkového množství C v atmosféře je každý rok zapojena do koloběhu uhlíku
- ◆ polovina koloběhu C se děje v suchozemské biotě, polovina fyzikálními a chemickými procesy na povrchu oceánů
- ◆ suchozemské a oceánské zásobníky C jsou mnohem větší než jeho množství v atmosféře
- ◆ uvolnění pouhých 2 % C uloženého v oceánech by množství v atmosféře zdvojnásobilo

Celková rozloha a zásoba uhlíku hlavních lesních biomů

Lesní biom	Rozloha (Mha)	Hustota C vegetace (t ha ⁻¹)	Hustota C půda (t ha ⁻¹)	Zásoba C vegetace (Gt)	Zásoba C půda (Gt)
Boreální	1372	64	343	88	471
Temperátní	1038	57	96	59	100
Tropický	1755	121	123	212	216
Celkem	4165	86	189	359	787

Střední doba uložení uhlíku v ekosystémech tří typů lesních oblastí (roky)

	tropická	temperátní	boreální
biomasa	16	10	12
půda a opad	15	10	106
celý ekosystém	29	18	89

Změny rozlohy rozlohy hlavních lesních biomů

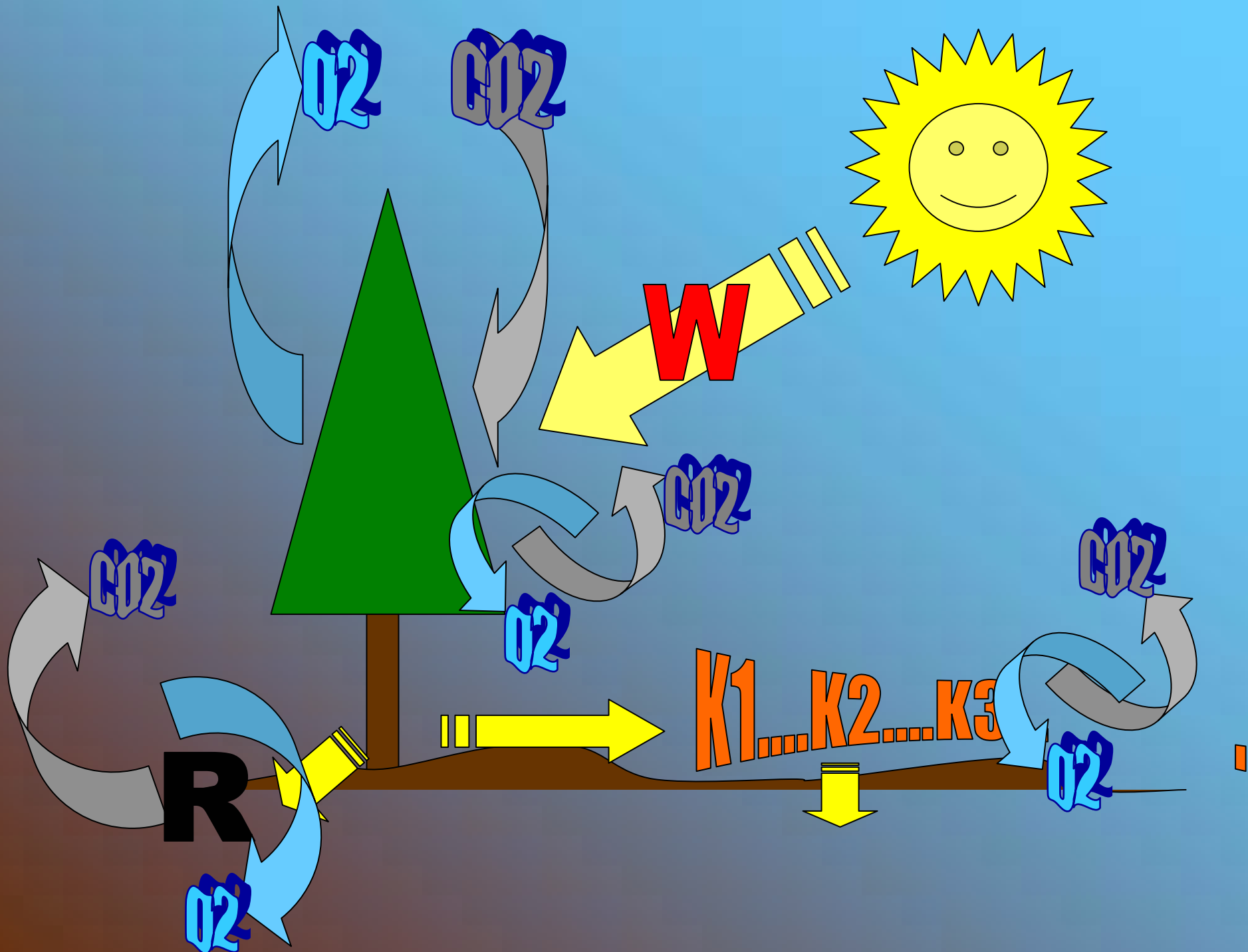
Lesní biom	Rozloha 1850 (Mha)	Rozloha 1980 (Mha)	Změna (%)	Uvolnění C (Gt)
Boreální	1172	1167	0,5	4
Temperátní	1583	1492	6	27
Tropický	2675	2167	19	52
Celkem	5430	4827	11	83

Koncentrace CO₂ v historii:

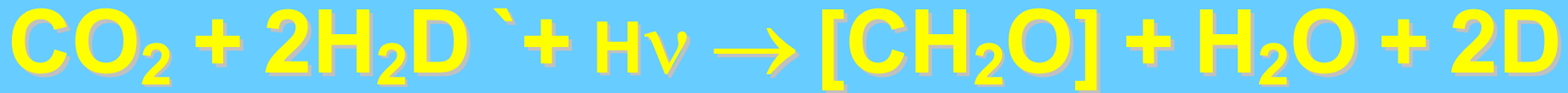
- ⇒ doby ledové: 180 až 200 $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$
- ⇒ doby meziledové: 260 až 280 ppm
- ⇒ r. 1750-1850: uvolnění $\approx 40 \text{ PgC}$
- ⇒ emisí fosilních paliv: více než 200PgC

Současná situace:

- ⇒ roční emise C $\approx 7.1 \pm 1.1 \text{ Gt}$,
- ⇒ $3.3 \pm 0.2 \text{ Gt C rok}^{-1}$ zůstává v atmosféře,
- ⇒ $2.0 \pm 0.8 \text{ Gt C rok}^{-1}$ absorbováno oceány, a
- ⇒ $1.8 \pm 1.6 \text{ Gt C rok}^{-1} \approx$ tzv. suchozemskému “chybějícímu spotřebiči”.



FOTOSYNTÉZA

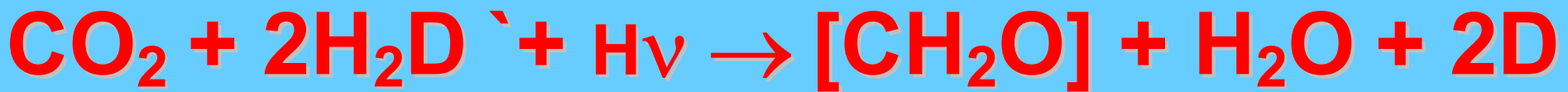


RESPIRACE



Život na Zemi závisí na sluneční energii. Fotosyntéza je jediným procesem, který může tuto energii uchovávat ve formě vazeb chemických sloučenin. *Odhaduje se, že fotosyntézou je ročně spoutáno přibližně 10^{11} t uhlíku a více než 10^{18} kJ energie.*

Obecná rovnice fotosyntézy má následující tvar:



Za přítomnosti kvanta světelné energie $h\nu$ tedy dochází k *redukci* CO_2 (tento je akceptorem H, NO_3^- , N_2) a k *oxidaci* H_2D (což je obecně *donor* H).

Pro vyšší rostliny je donorem vodíku voda (změna entalpie $\Delta H = 468.2 \text{ kJ mol}^{-1}$),

pro některé bakterie jím je H_2S , S, SO_3^{2-} , H_2 , izopropylalkohol nebo kyselina jablečná

FOTOSYNTÉZA - produkuje sacharidy - substráty, na kterých závisí život rostlin.

RESPIRACE - proces, ve kterém se energie uložená v sacharidech uvolňuje sekvencí řízených reakcí

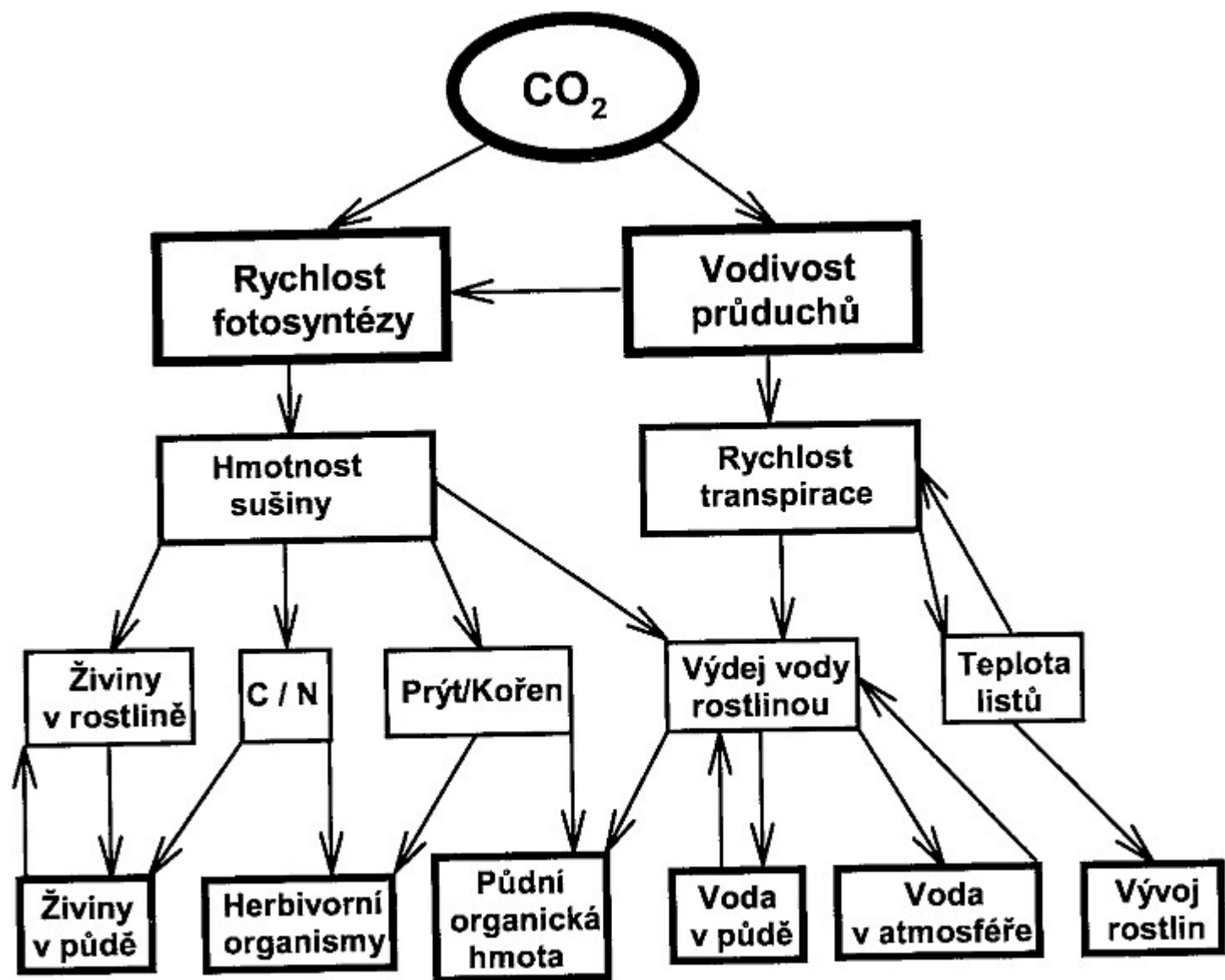
AEROBNÍ RESPIRACE - proces, ve kterém jsou redukované organické látky s vysokým obsahem energie mobilizovány a následně oxidovány

Obecná rovnice respirace zní:



Znamená to, že při respiraci dochází ke kompletní oxidaci glukózy na oxid uhličitý. Kyslík slouží jako konečný akceptor elektronu a je redukován na vodu.

Hodnota standardní volné energie této reakce činí 2880 kJ na mol (180g) oxidované glukózy. Tato volná energie je využita k syntéze ATP.



RESPIRACE VYŠŠÍCH ROSTLIN



FOTOSYNTÉZA - produkuje sacharidy - substráty, na kterých závisí život rostlin.

RESPIRACE - proces, ve kterém se energie uložená v sacharidech uvolňuje sekvencí řízených reakcí

AEROBNÍ RESPIRACE - proces, ve kterém jsou redukované organické látky s vysokým obsahem energie mobilizovány a následně oxidovány

Obecná rovnice respirace zní:



Znamená to, že při respiraci dochází ke kompletní oxidaci glukózy na oxid uhličitý. Kyslík slouží jako konečný akceptor elektronu a je redukován na vodu.

Hodnota standardní volné energie této reakce činí 2880 kJ na mol (180g) oxidované glukózy. Tato volná energie je využita k syntéze ATP.

Přestože je glukóza považována za základní substrát respirace, je tento fyziologický proces křížovatkou, ve které je zužitkováván uhlík pocházející z různých zdrojů: polymery glukózy - škrob, sacharóza a fruktózany, tuky (hlavně triglyceroly), organické kyseliny a proteiny

Důležité zásobní látky jako je škrob, jsou polymerní látky, které se při mobilizaci štěpí na monomerní složky.

Pro další metabolismus je důležité, aby odštěpené zbytky byly fosforylovány. Tuto funkci zastávají enzymy fosforylázy škrobu, které přenášejí z neredukujícího konce škrobu glukosylové zbytky na anorganický fosfát

Základní mechanismus mobilizace asimilátu:

škrob → glukosidáza → glukóza

**RESPIRACE JE VÍCESTUPŇOVÝ PROCES,
skládající se z:**

**glykolýzy,
cyklu trikarboxylových kyselin,
oxidativní fosforylace**

GLYKOLÝZA

GLYKOLÝZA *JE SLED REAKCÍ, PŘI NICHŽ JE GLUKÓZA OXIDAČNĚ ŠTĚPENA NA TRÍUHLÍKATÉ LÁTKY*. PŘITOM SE UVOLŇUJE ENERGIE VYUŽITÁ JAKO *ATP*, PŘÍPADNĚ JAKO *NADH*. ENZYMATICKÝ APARÁT GLYKO-LÝZY SE NACHÁZÍ V CYTOPLAZMĚ BUŇKY.

PRODUKTY GLYKOLÝZY JSOU PYRUVÁT, *ATP* A *NADH*. NA JEDNU MOLEKULU GLUKÓZY JSOU PRODUKOVÁNY *DVĚ MOLEKULY ATP* A *JEDNA MOLEKULA NADH*. GLYKOLÝZA JE VÝVOJOVĚ NEJSTARŠÍ SOUČÁSTÍ RESPIRACE.

KREBSŮV CYKLUS - TCA

Se uskutečňuje v matrix mitochondrií.

Pyruvát, koncový produkt glykolýzy, vstupuje do mitochondrie prostřednictvím specifického translokátoru, který katalyzuje výměnu pyruvátu za OH^- ionty přes membránu.

TCA začíná aktivitou enzymu pyruvátdehydrogenáza, při které

se pyruvát váže s kofaktorem koenzymem-A obsahujícím síru.

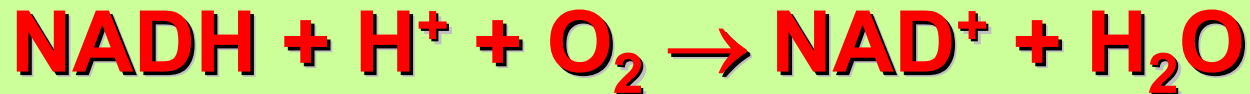
Výsledným produktem této reakce je acetyl-koenzym A, CO_2 a NADH.

Acetyl-koenzym A se plně oxiduje v citrátovém cyklu sérií organických reakcí katalyzovaných 8 enzymy

OXIDATIVNÍ FOSFORYLACE

System oxidativní fosforylace *katalyzuje tok elektronů z NADH a FADH na kyslík.*

Na oxidaci NADH je nutný dvouelektronový přenos typu:

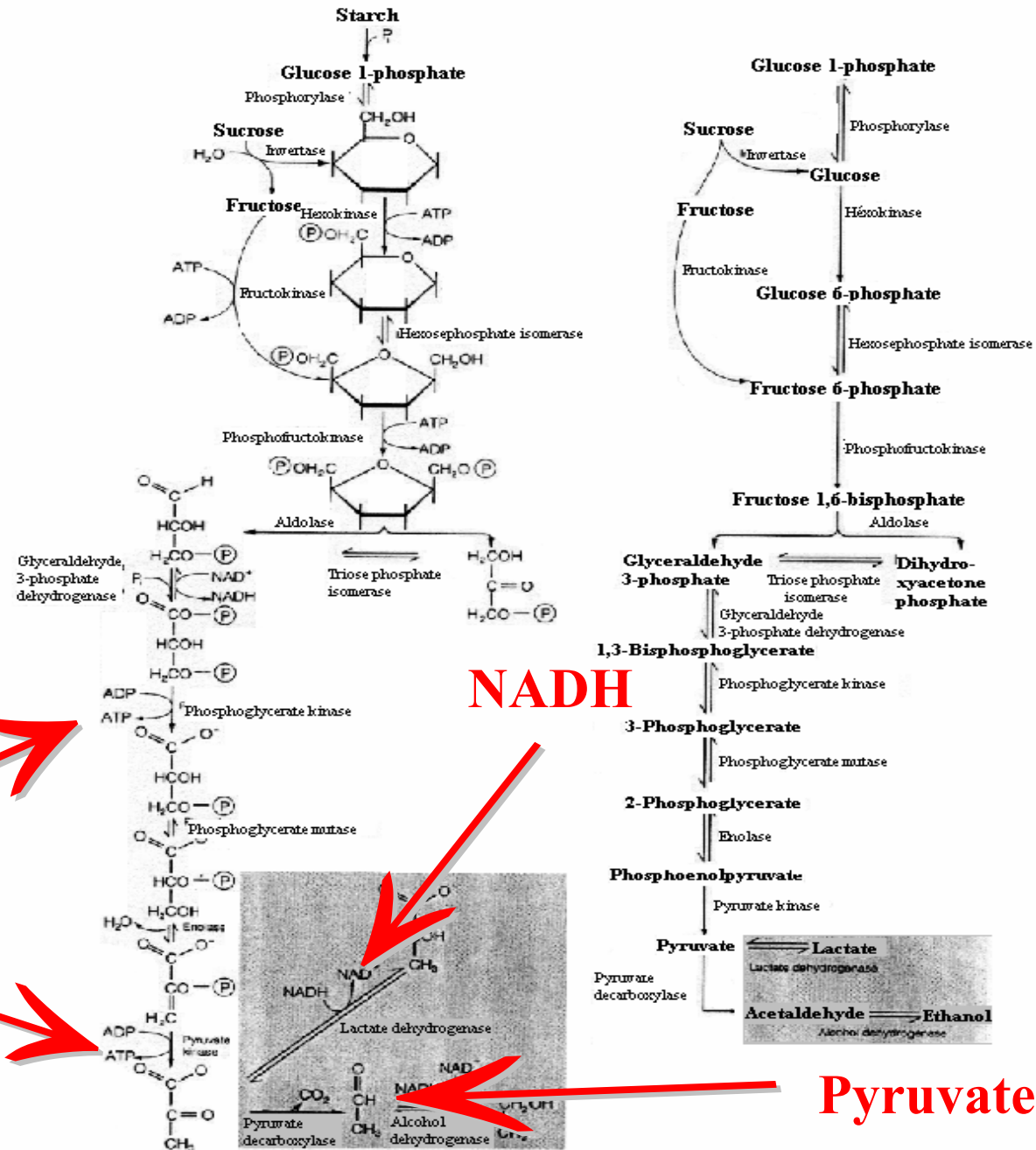


TATO REAKCE POSKYTUJE STANDARTNÍ VOLNOU ENERGIÍ 220 kJ.

U OXIDACE FADH ČINÍ TATO ENERGIE 167.5 kJ.

Tato uvolněná energie je pak v procesu oxidativní fosforylace využita k produkci ATP.

Glycolysis

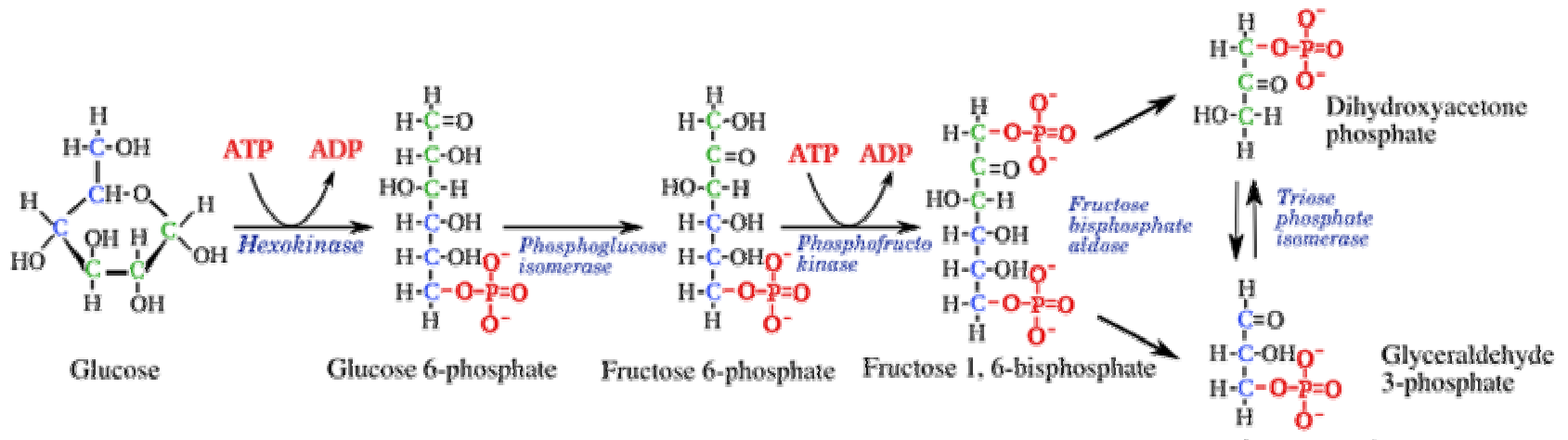


ATP

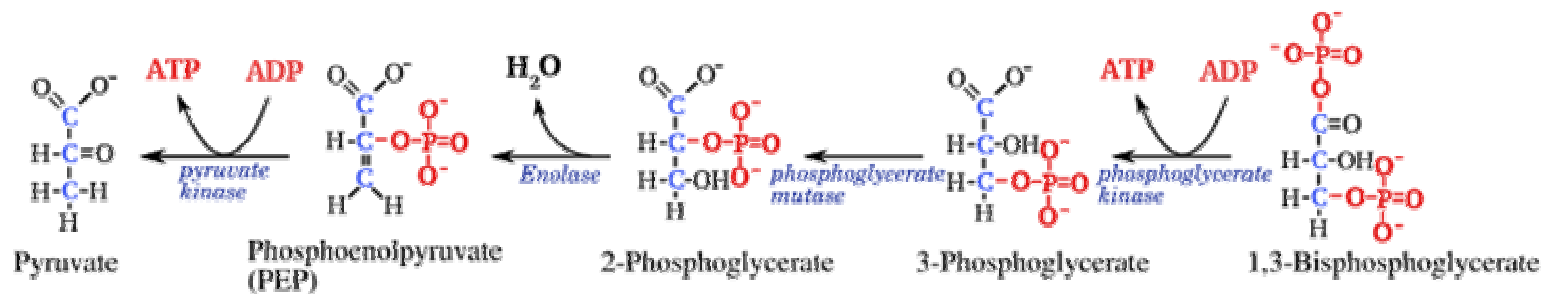
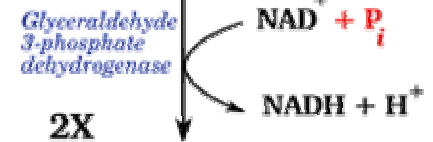
ATP

NADH

Pyruvate



GLYCOLYSIS



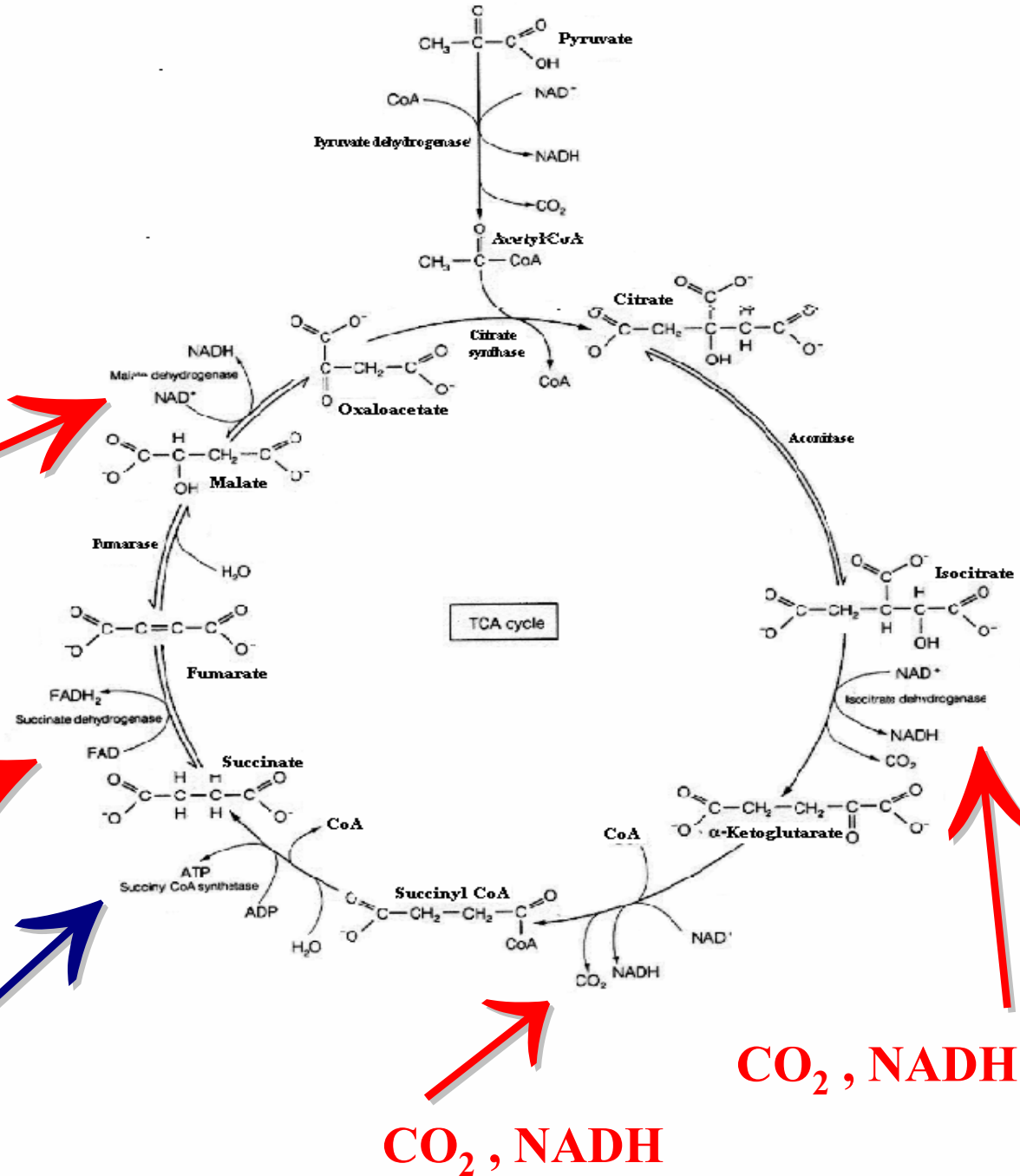
Tricarboxylic acid cycle (TCA)

Krebs cycle

NADH

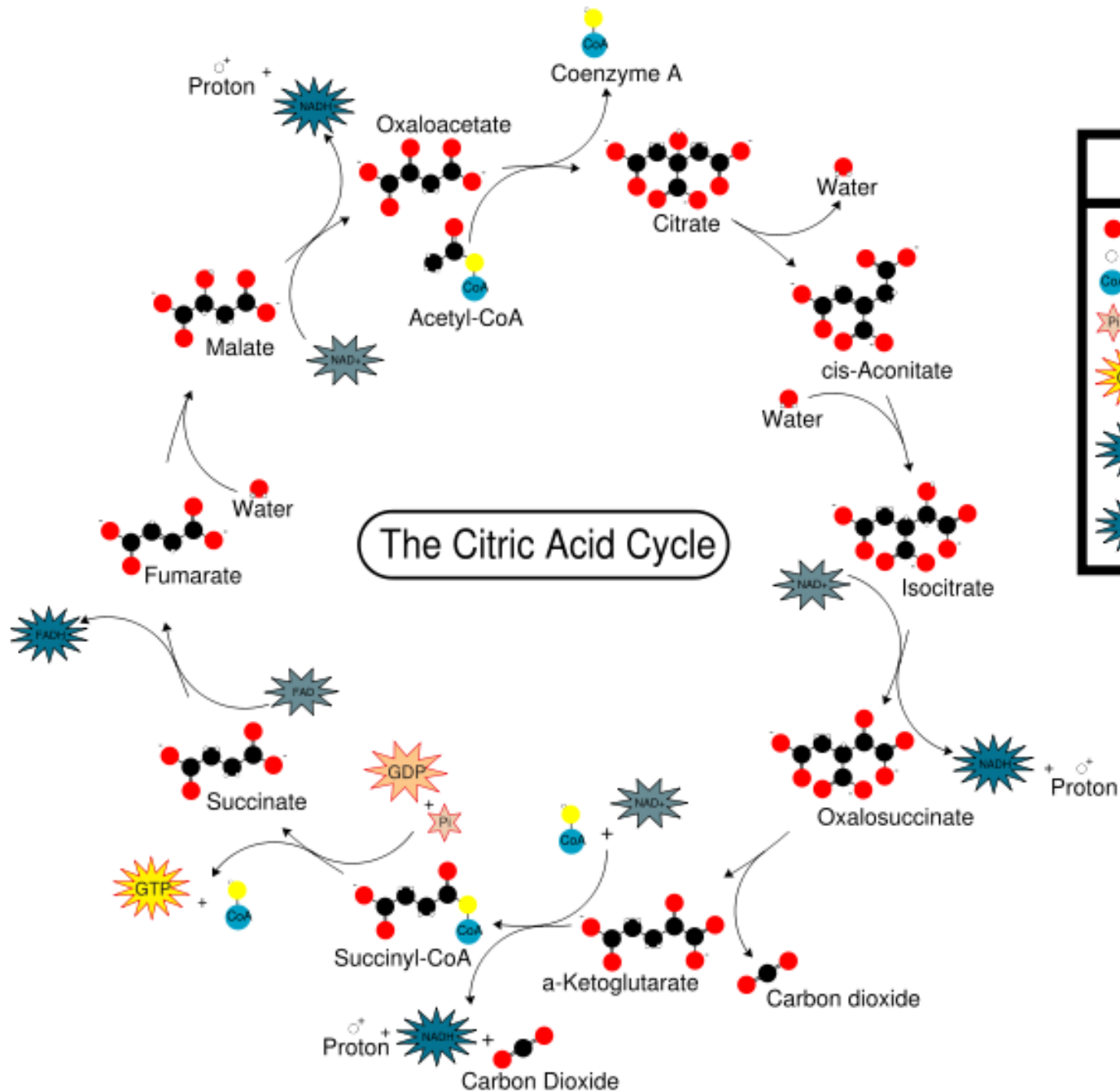
FADH₂

ATP



CO₂, NADH

CO₂, NADH



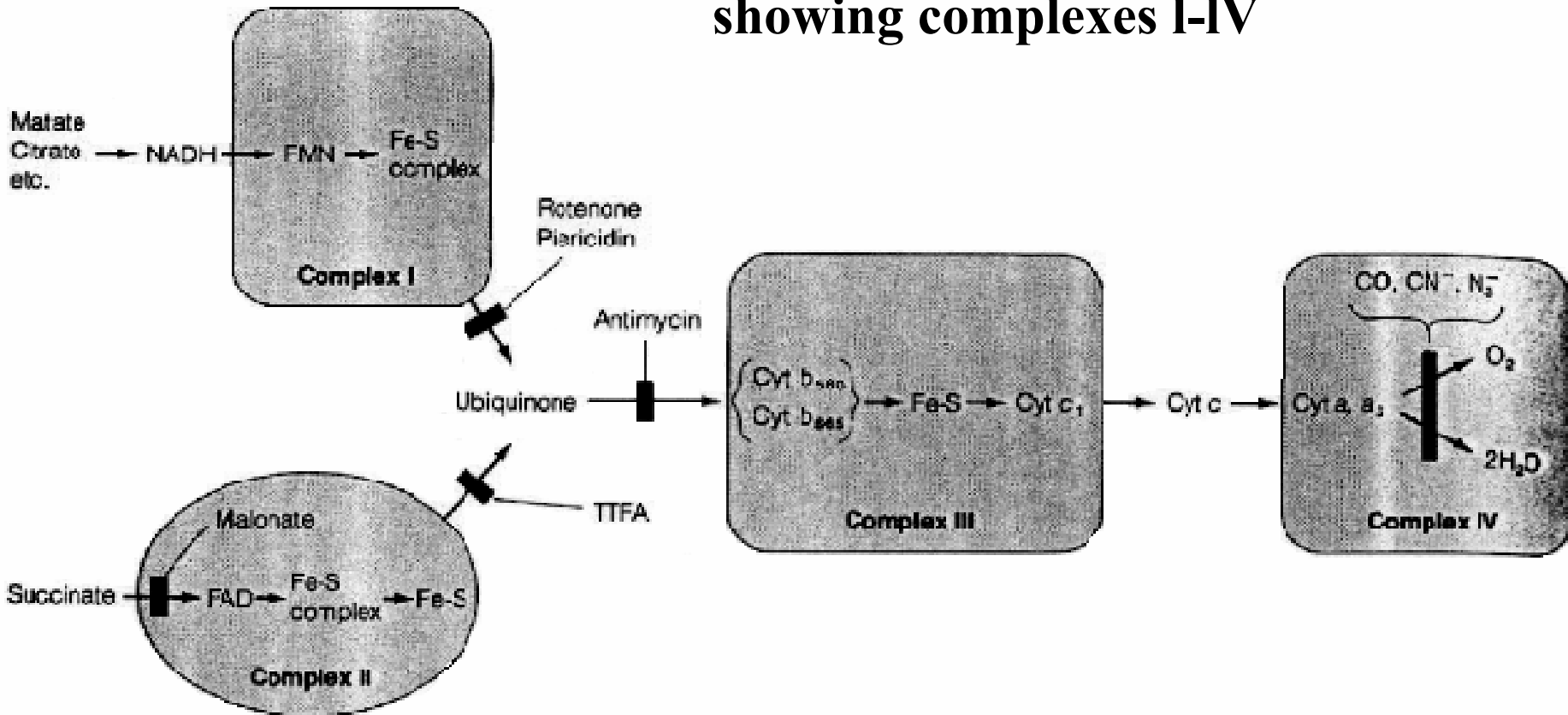
The Citric Acid Cycle

Legend

- Oxygen
- Carbon
- Hydrogen
- Sulfur
- CoA Coenzyme A
- PI Inorganic phosphate
- GTP Guanosine triphosphate
- NAD⁺ Nicotinamide adenine dinucleotide
- NAD⁺ Flavin adenine dinucleotide

The oxidative phosphorylation

Pathway of plant mitochondrial electron transport, showing complexes I-IV



GROWTH AND MAINTENANCE RESPIRATION

Growth respiration: energy expended in the production of new tissue, also called synthesis or constructive respiration.

Maintenance respiration: energy expended by the plant simply in staying alive, also called dormant or basal respiration.

Význam respirace rostlin

vrací asimilovaný C zpět do atmosféry

u bylin je 60% denní fotosyntetické produkce prodýcháno

u mladých stromů je tato ztráta asi 30% (staré dvojnásobek)

v tropech až 70-80% denní fotosyntetické produkce prodýcháno

respirace ovlivněna především teplotou (Q_{10} je asi 2.2)

limitace nedostatkem O_2 při $c < 1\%$

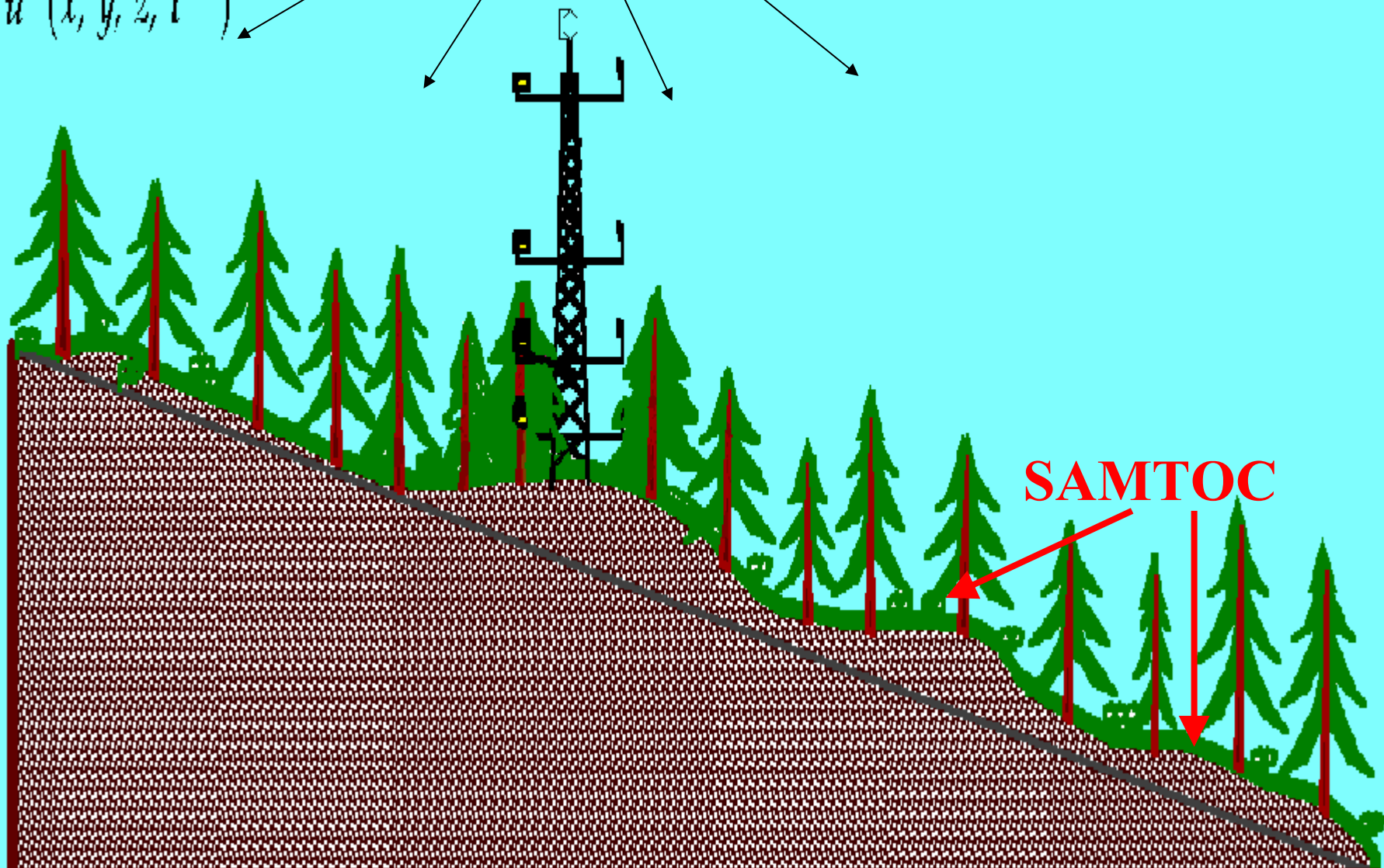
Rostlina může prodýchat jen to co předtím získala fotosyntézou
(výjimka – parazitické r.)

Metody měření

Metoda vířivé kovariance – měření toků energie a látek mezi porostem a atmosférou

In Situ Flux

$u(x, y, z, t)$

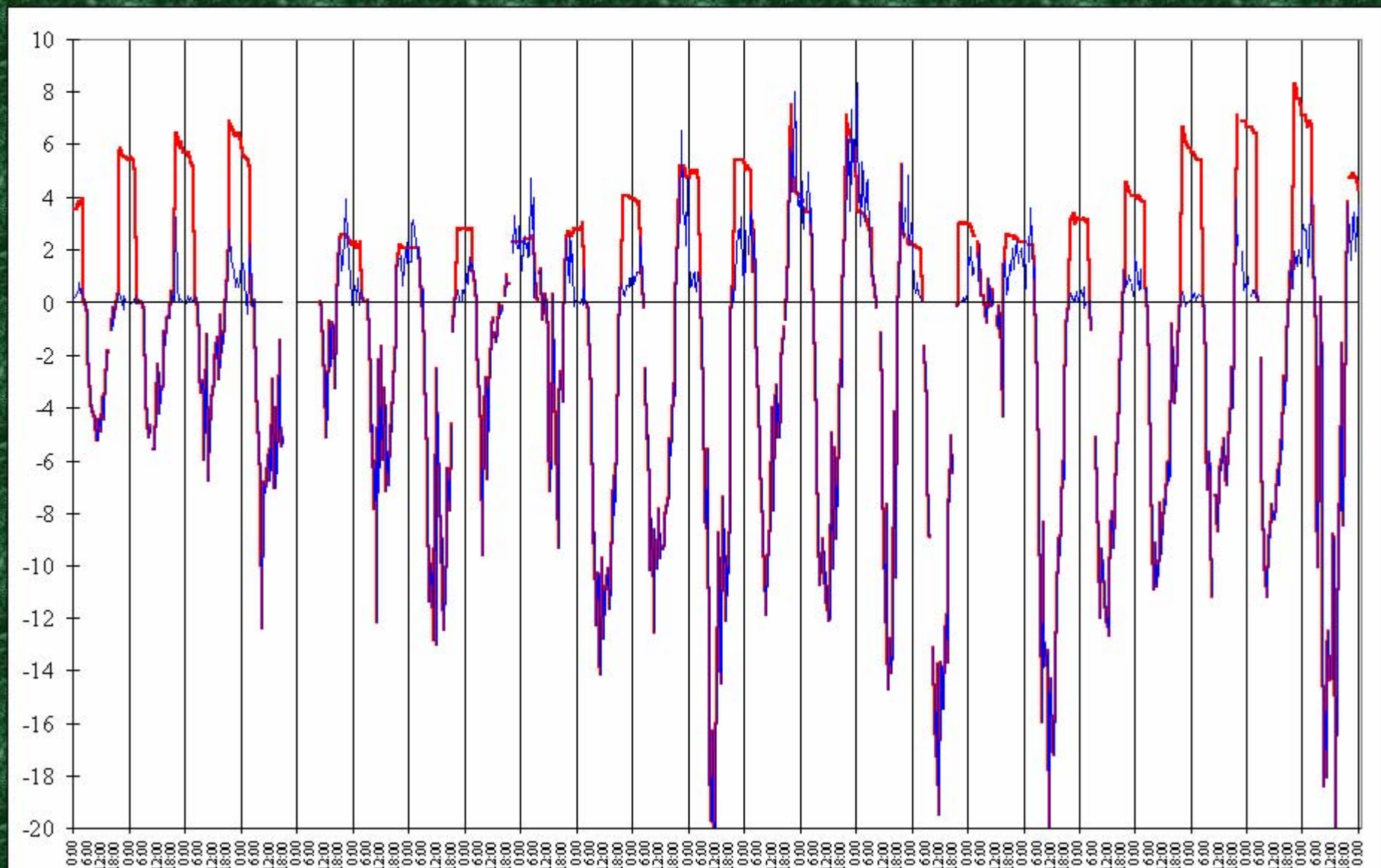




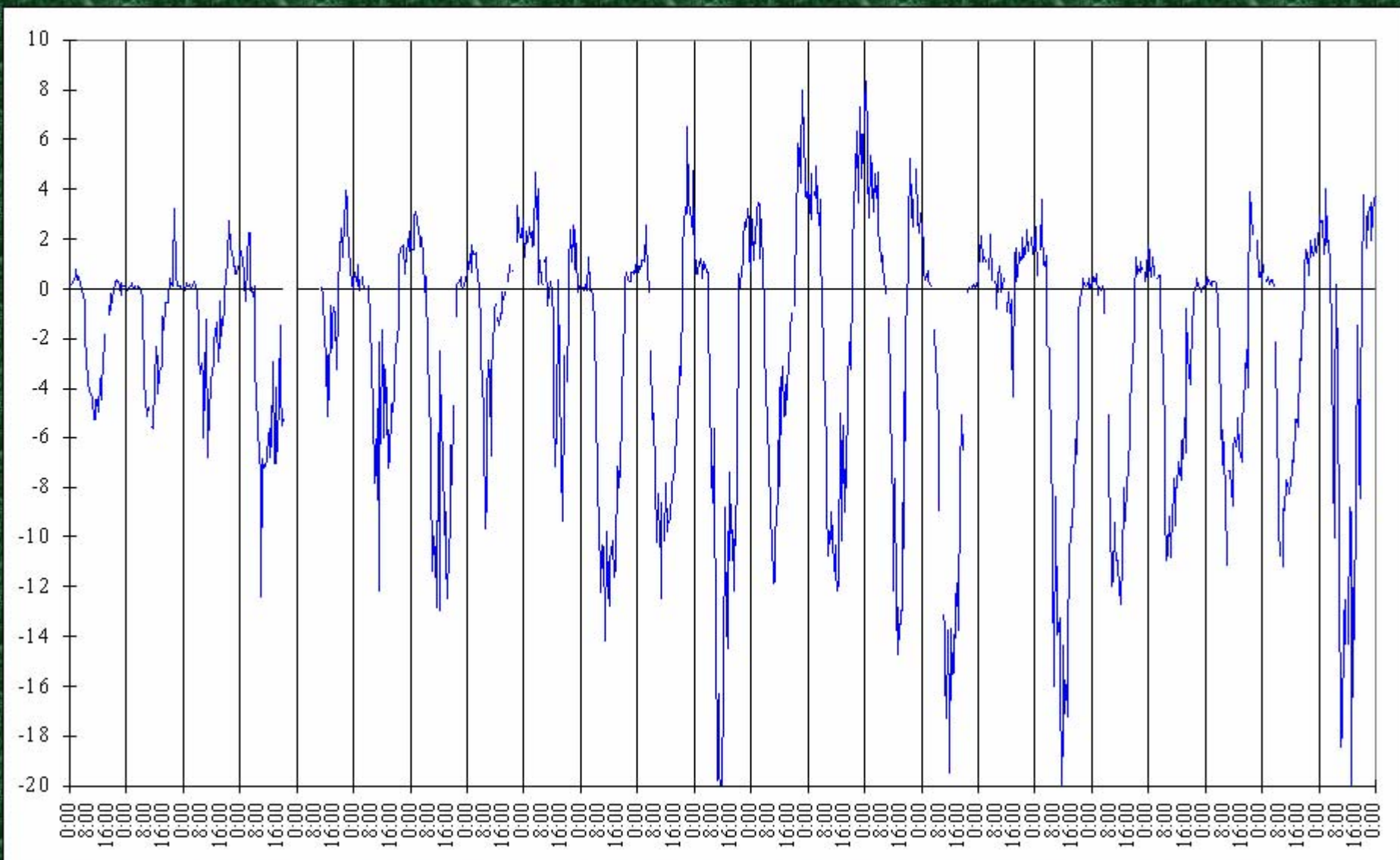
InSituFlux Systém

Zařízení pro měření
lokálních
povrchových toků
pohybové energie,
zjevného tepla,
vodní páry
a oxidu uhličitého

Tok oxidu uhličitého ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) (—) s modelovanými nočními hodnotami (—) ve dnech 15.5.-6.6.2000



Tok oxidu uhličitého ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$) ve dnech 15.5.-6.6.2000



METHODS TO MEASURE RESPIRATION

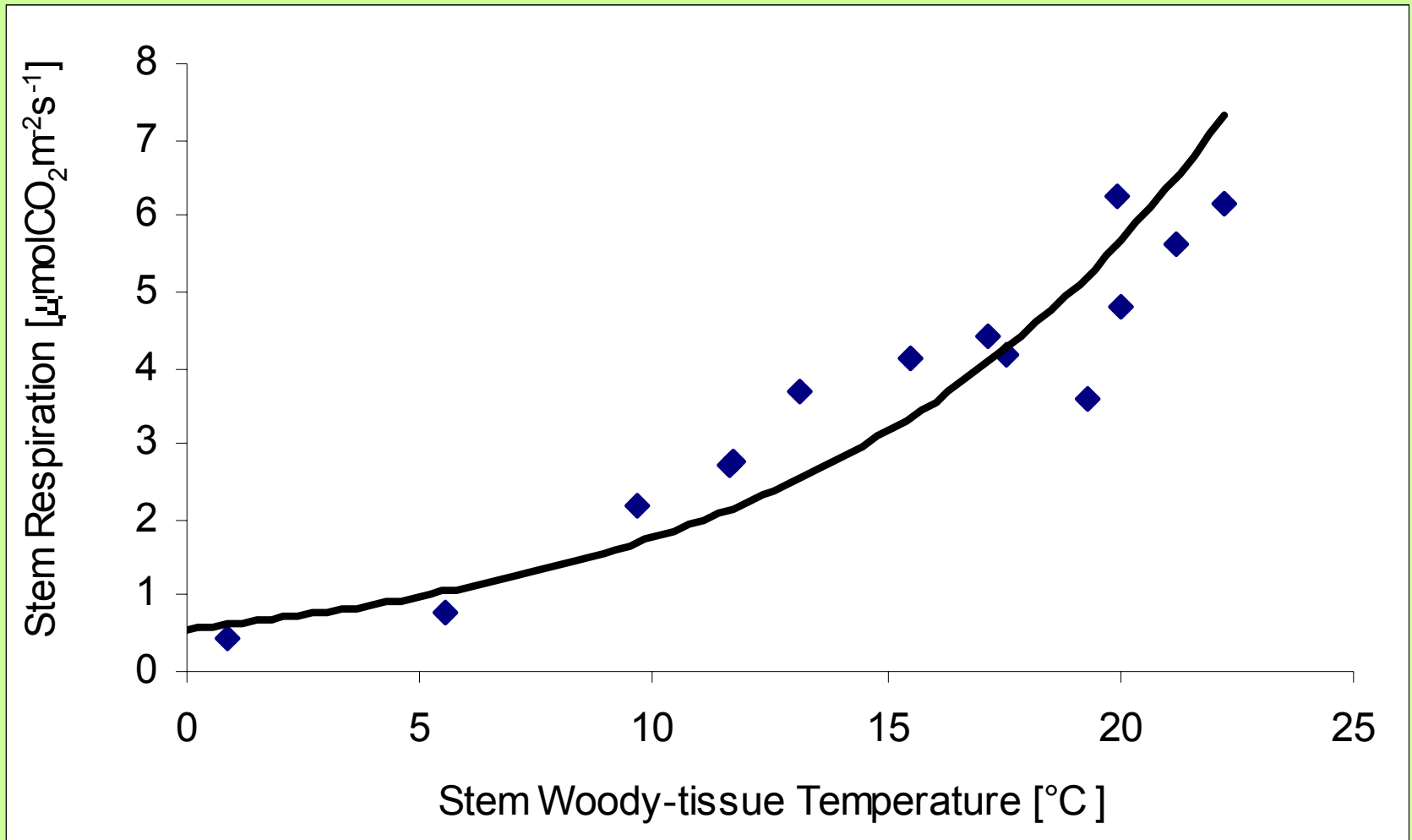
1) **Manometric** techniques measure gas volume change (laboratory conditions), as in Warburg or Gilson respirometers. Respiring material is typically placed in a sealed container with a CO₂ absorbent, and O₂ uptake is monitored with a manometer.

2) **Isotope techniques** (laboratory conditions) allow tracing of carbon when tissue are respiring substrate labelled with radioactive ¹⁴C.

RESPIRATION OF BRANCH AND STEMS



The obtained exponential relationship between woody-tissue respiration and woody-tissue temperature reflects the importance of temperature as a factor regulating respiration



Tok CO₂ z půdy:

respirace kořenů („autotrofní“)

respirace edafonu (heterotrofní)

chemická oxidace org. sloučenin

výstup CO₂ z podloží

Význam půdní respirace:

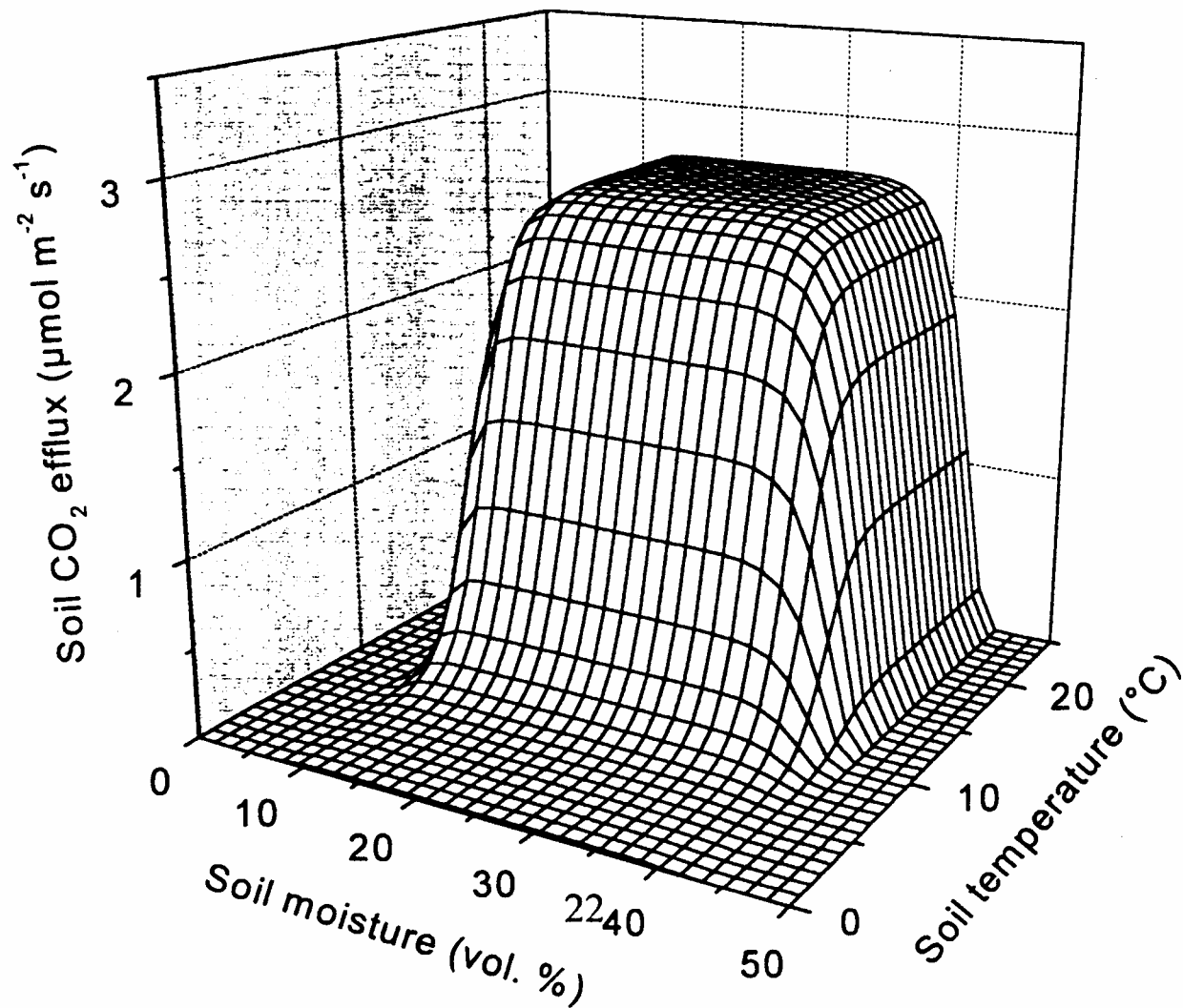
vrací CO₂ zpět do atmosféry

tvoří 60 - 80% celkové respirace temperátních lesů

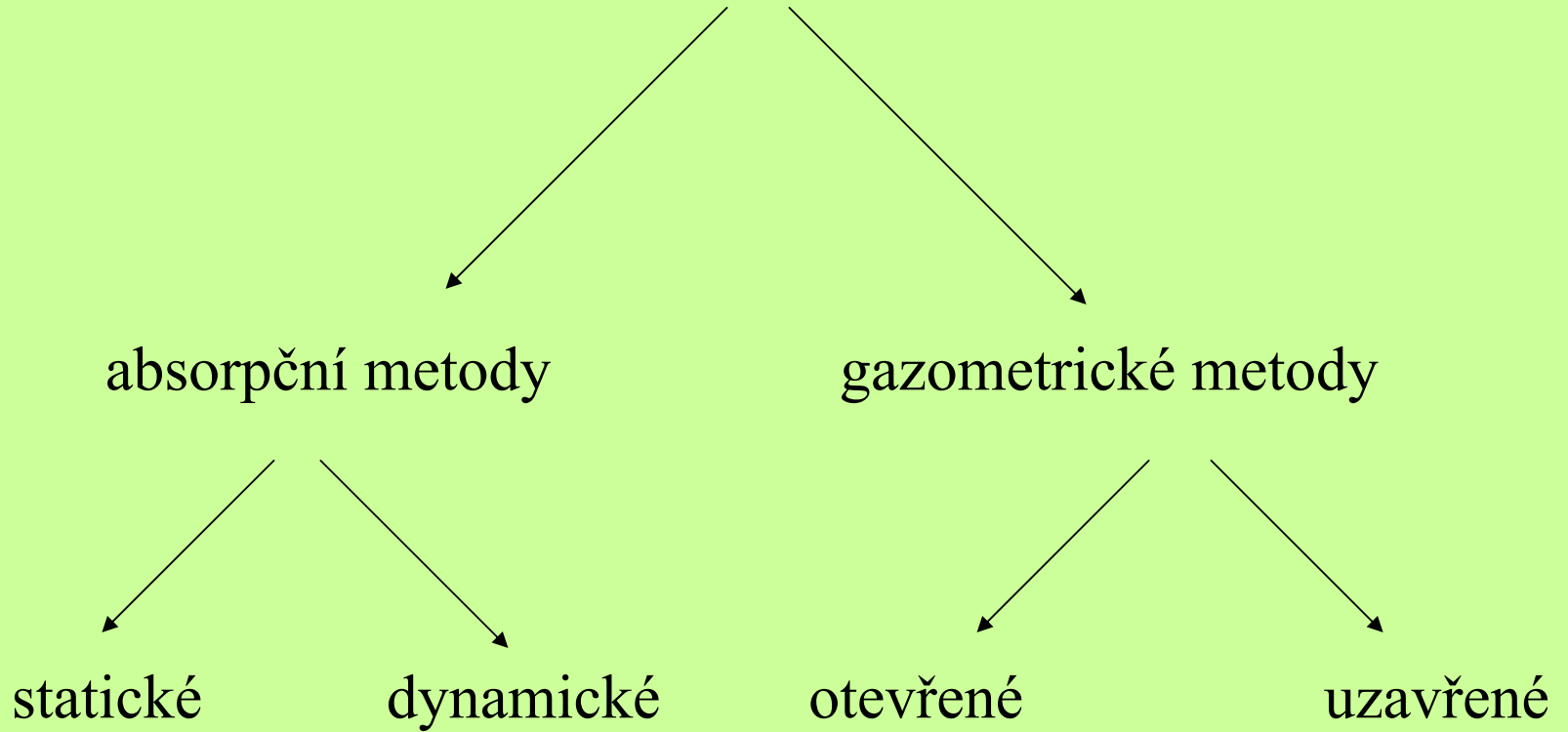
půda je významným deponiím uhlíku

Respirace půdy závisí na:

teplotě
a vlhkosti

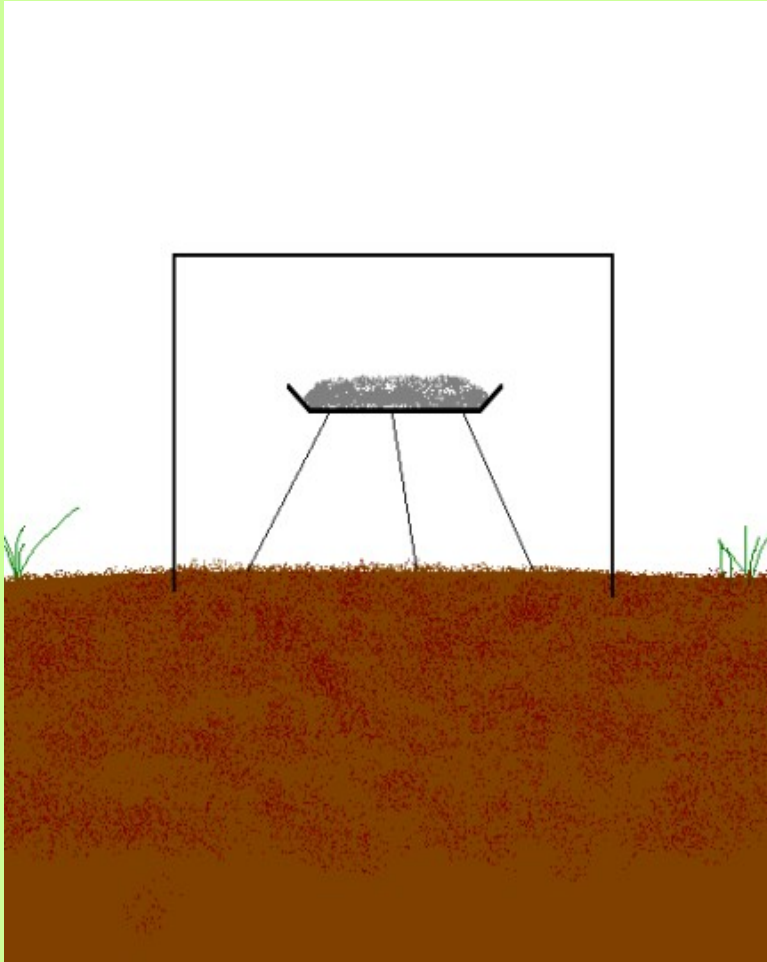


Systemy měření respirace půdy

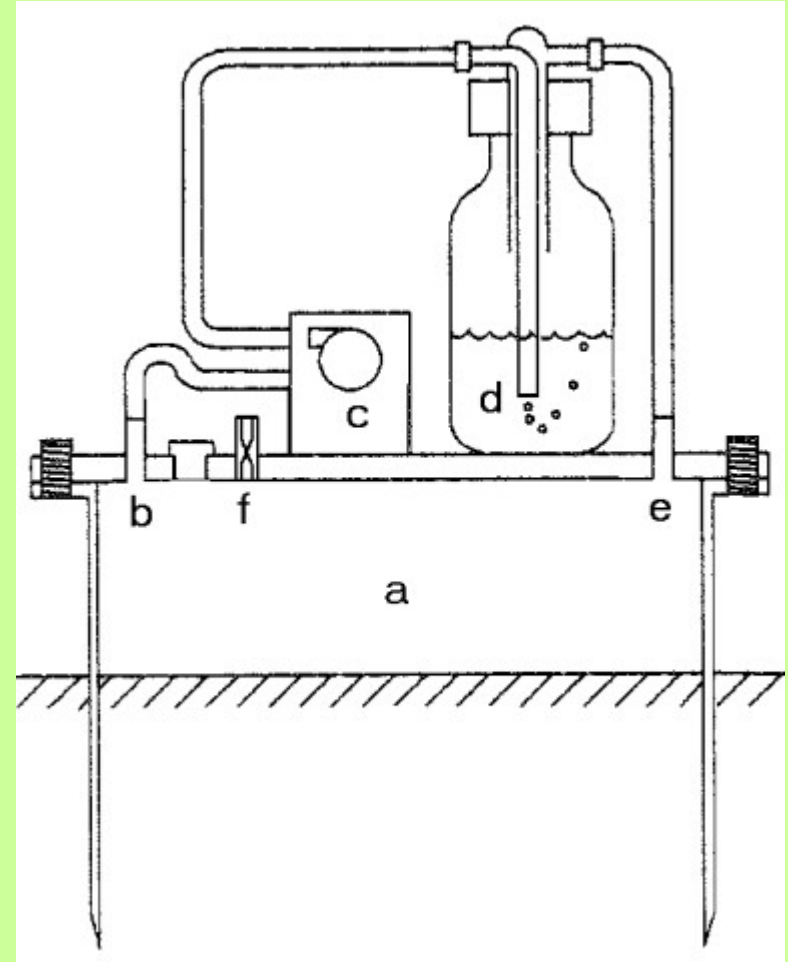


Absorpční metody

statická

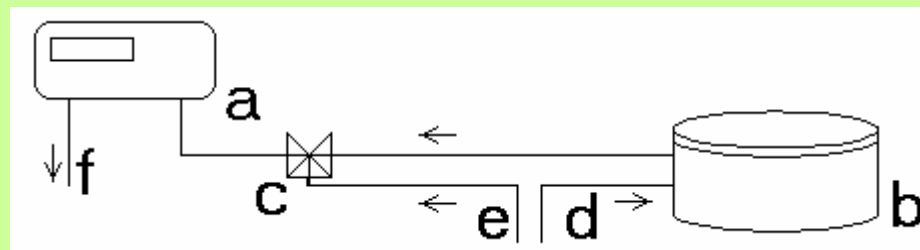


dynamická

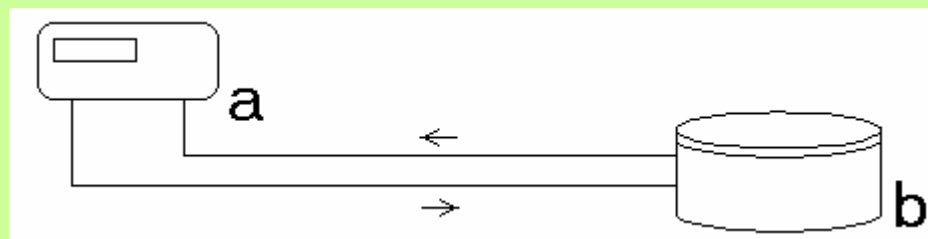


Gazometrické metody

otevřený systém

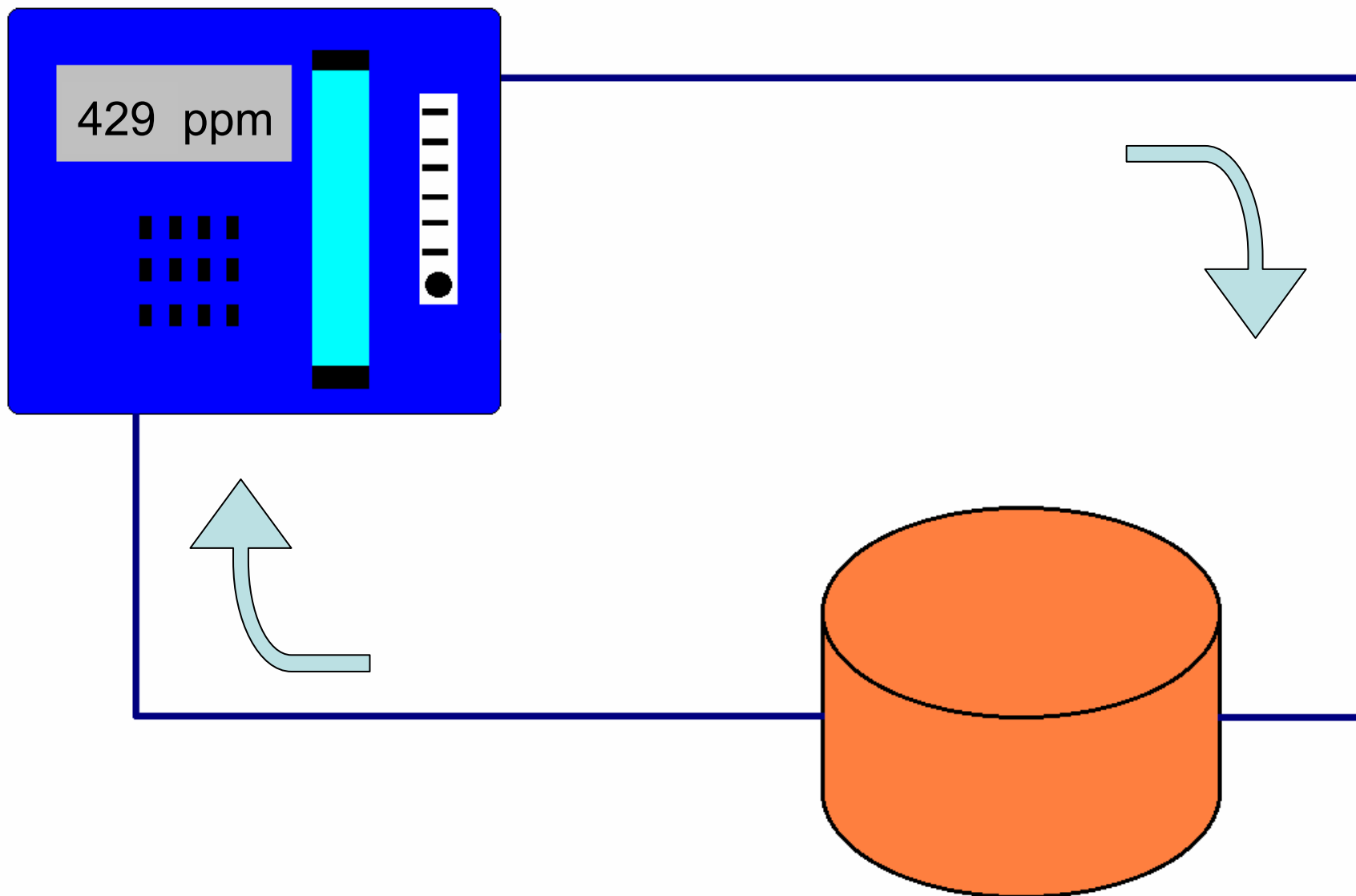


uzavřený systém

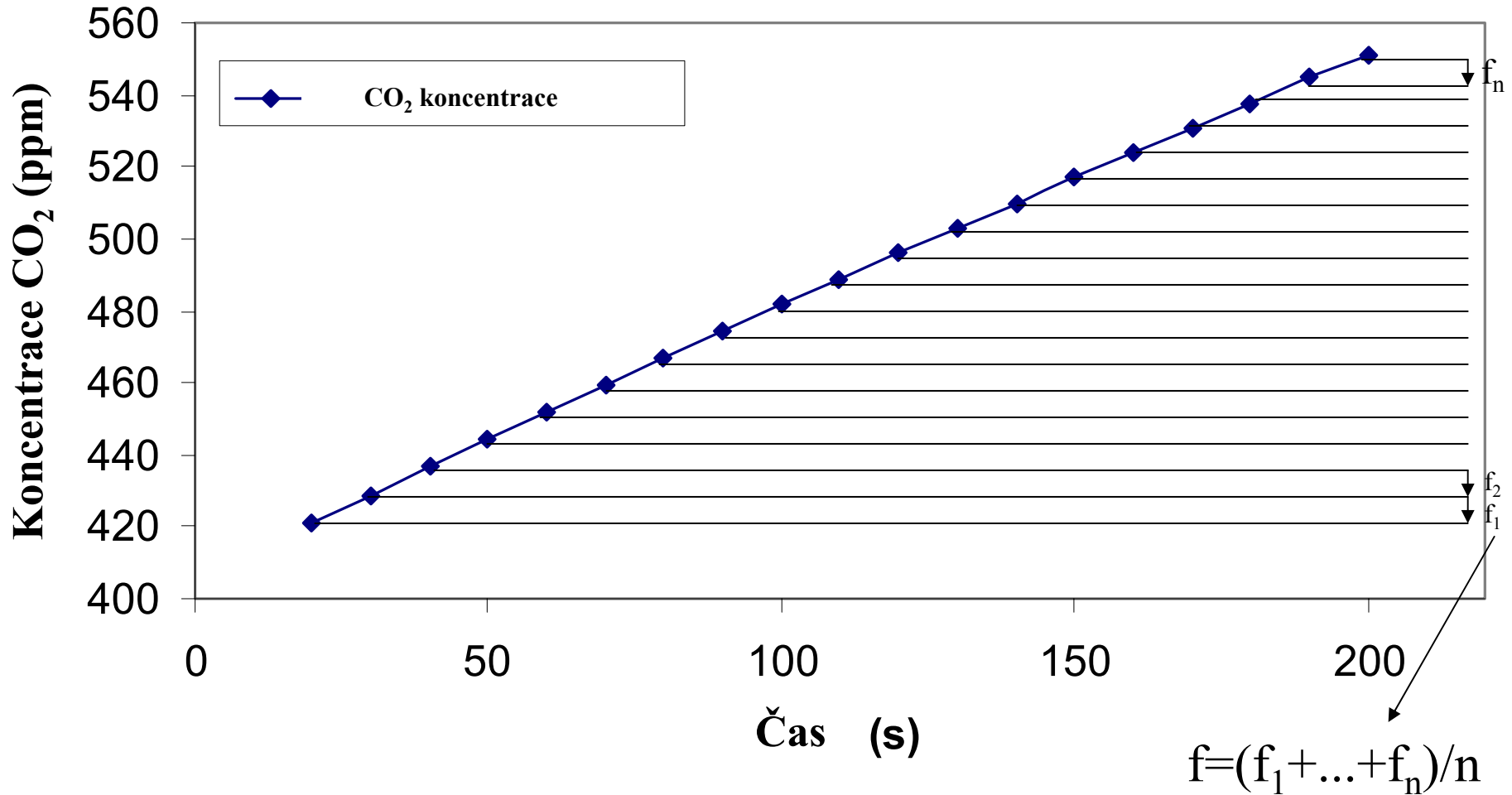


a – IRGA, b – respirační komora, c – přepínací trojcestný ventil,
d – vstup vzduchu do komory, e – odběr vzduchu z okolí,
f – výstup vzduchu z IRGA

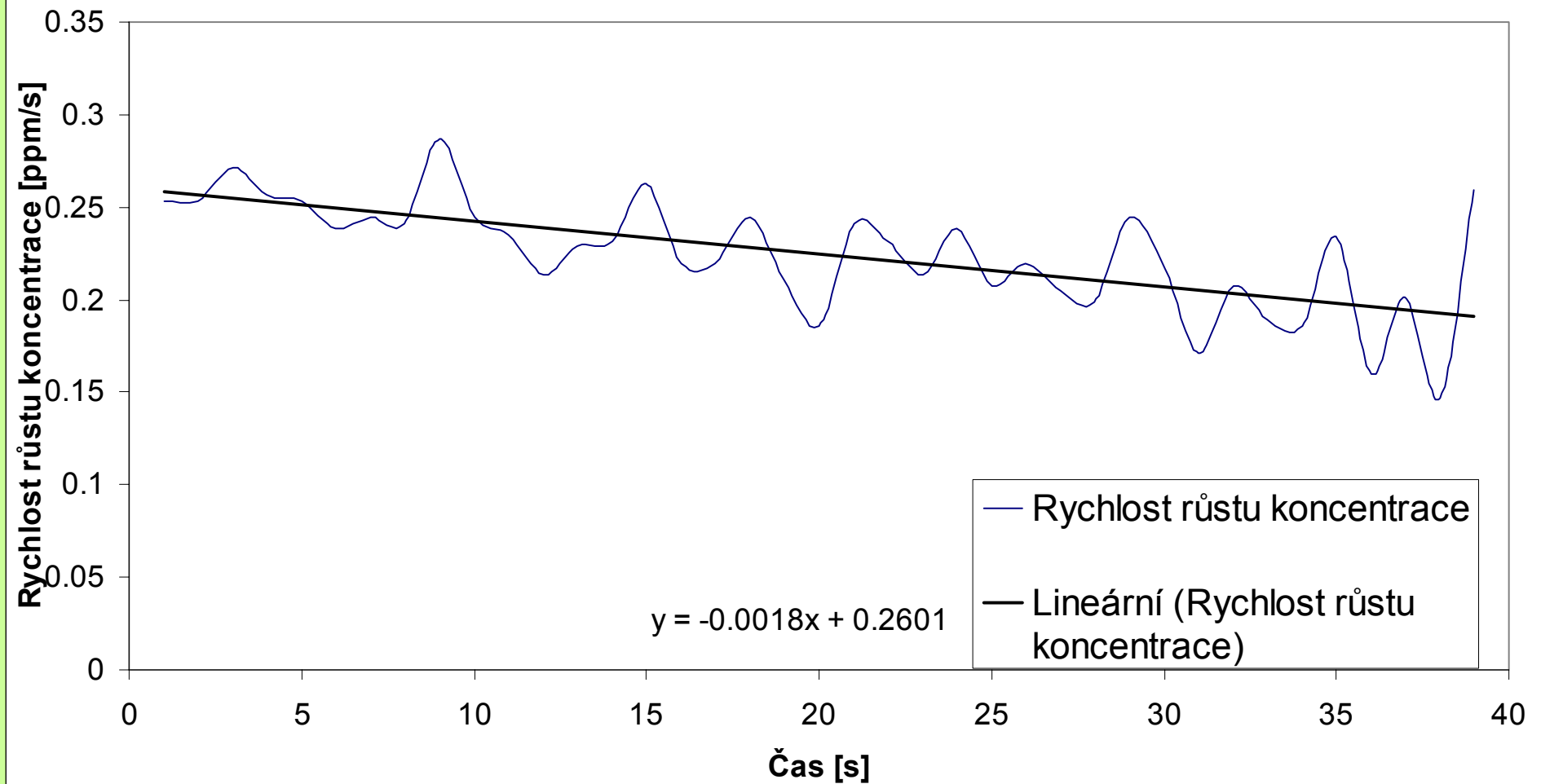
Uzavřený gazometrický systém



Růst koncentrace CO₂ v zavřené komoře



Závislost rychlosti růstu koncentrace CO₂ na délce měření

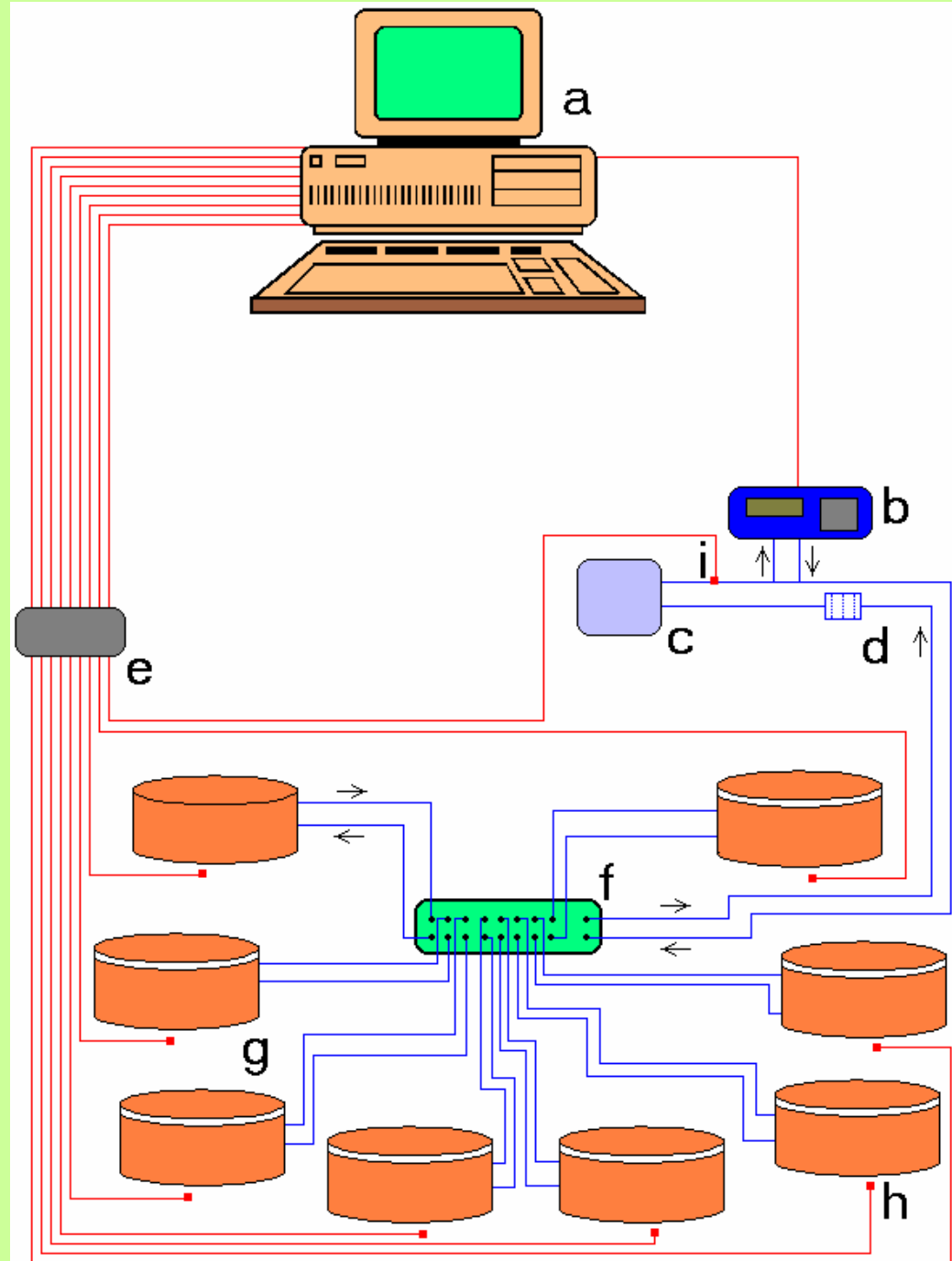


Režim měření 40 hodnot po 10 sekundách

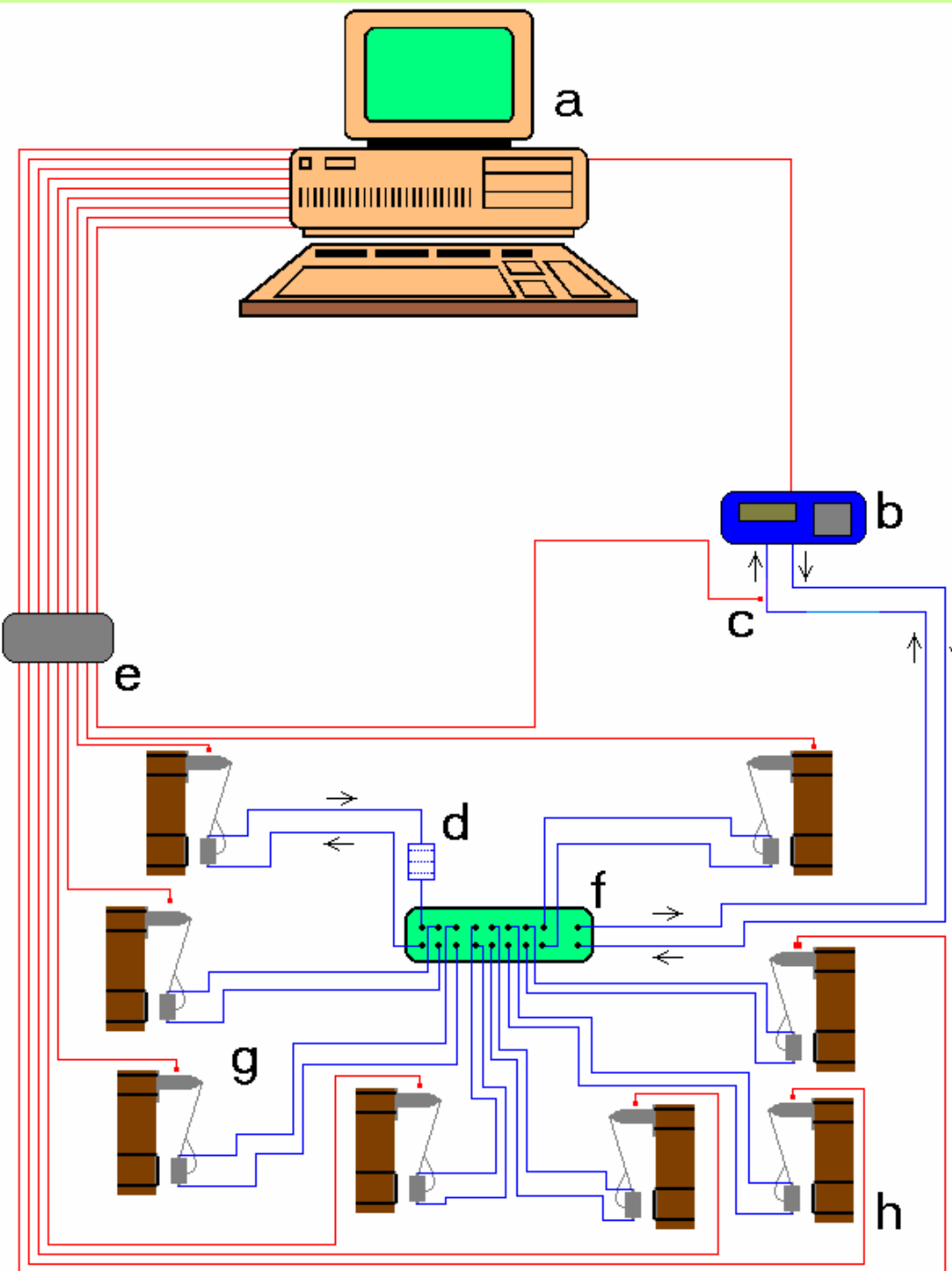
Změna rychlosti růstu koncentrace: 27%

SAMTOC SYSTEM (part soil)

- a – PC with software
- b – IRGA WMA-3
- c – pumpa
- d – filtr
- e – converter signal
- f – sampling change-over valve
- g – set of eight soil chambers
- h – set of eight sensors for soil temperature measurement
- i – sensor for air temperature measurement



SAMTOC SYSTEM (part woody-tissue)



a – PC with software

b – IRGA WMA-3

c – sensor for air temperature measurement

d – filtr

e – converter signal

f – sampling change-over valve

g – set of eight woody-tissue chambers

h – set of eight sensors for woody-tissue temperature measurement



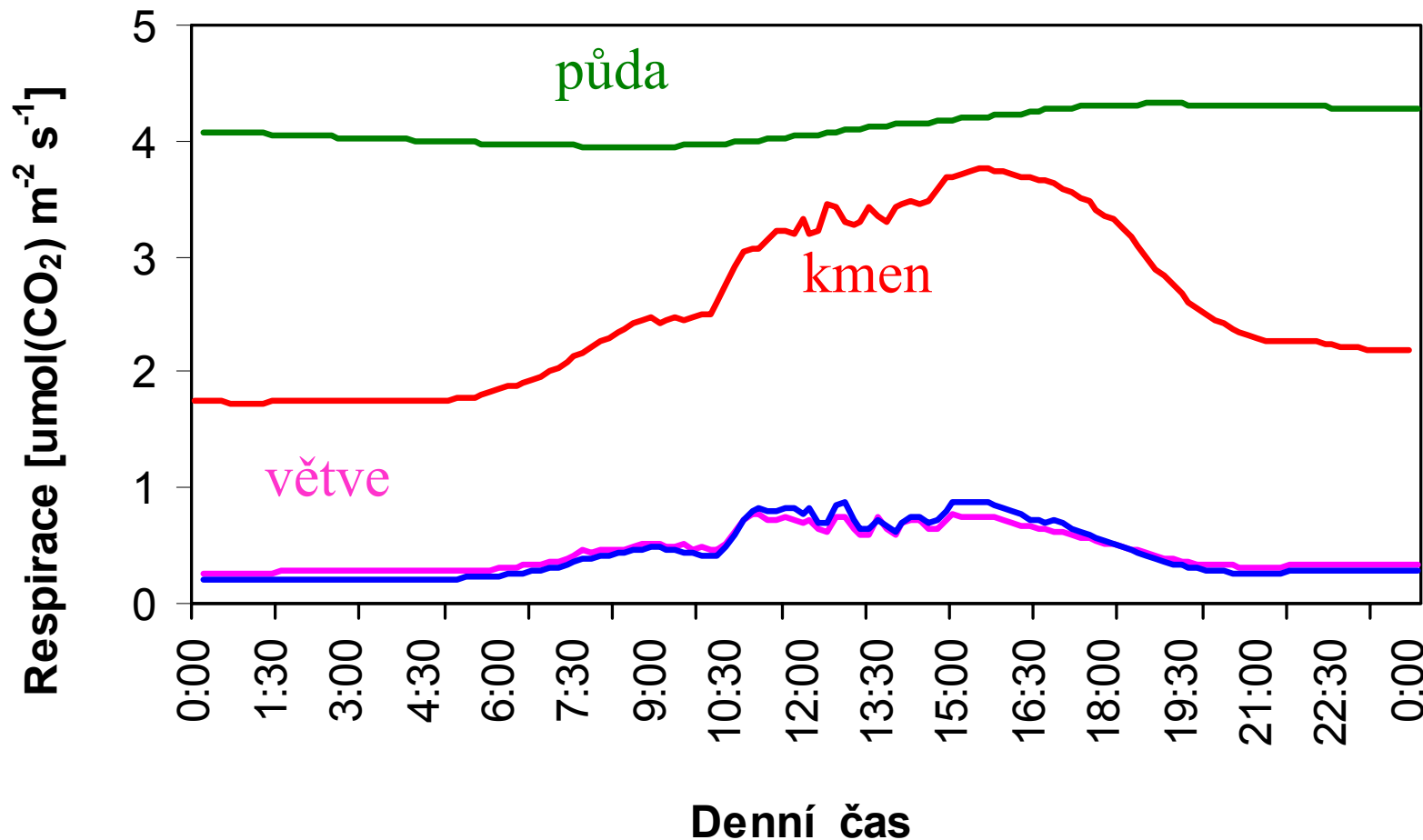
Soil chamber



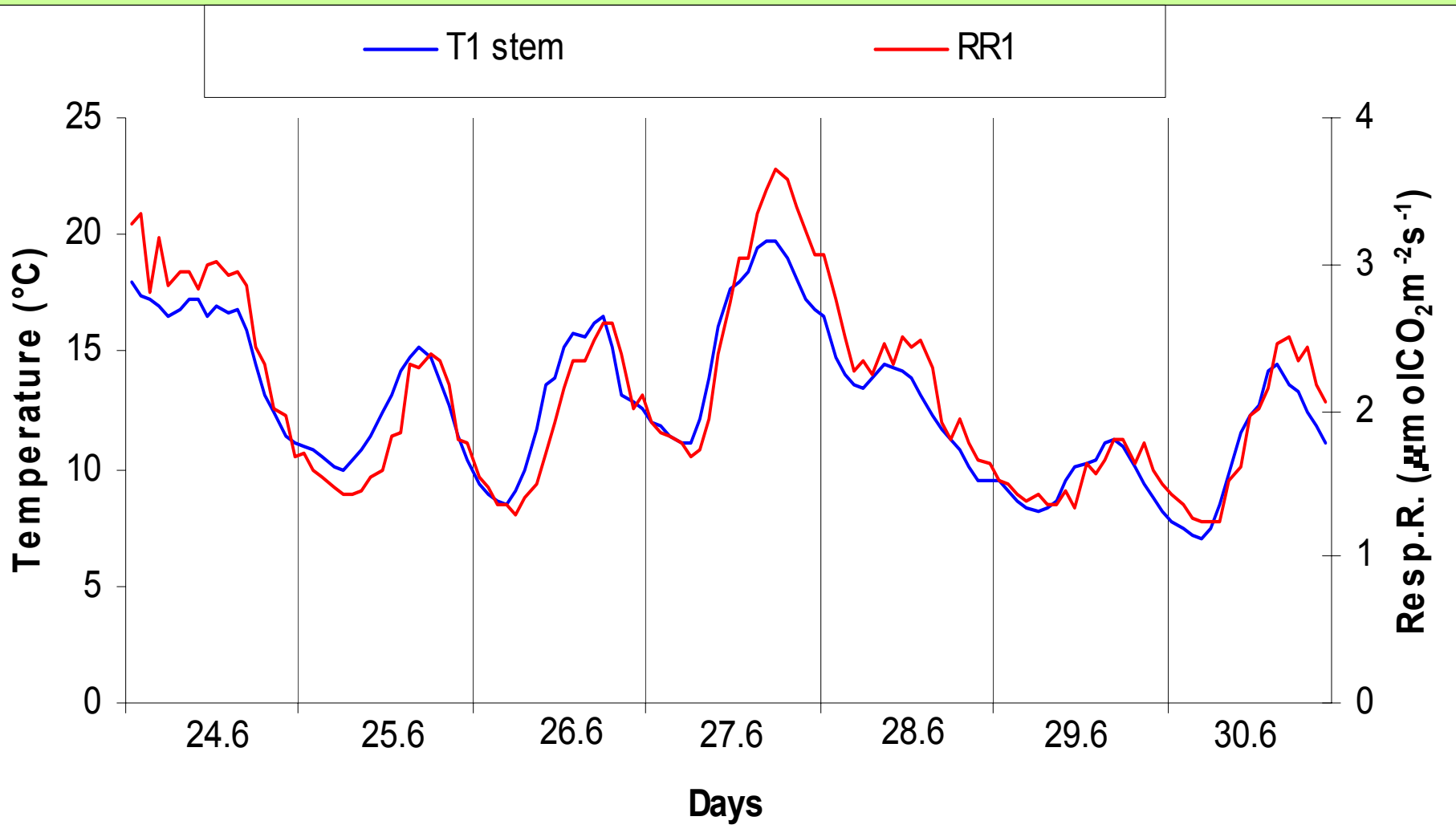
Woody-tissue chamber



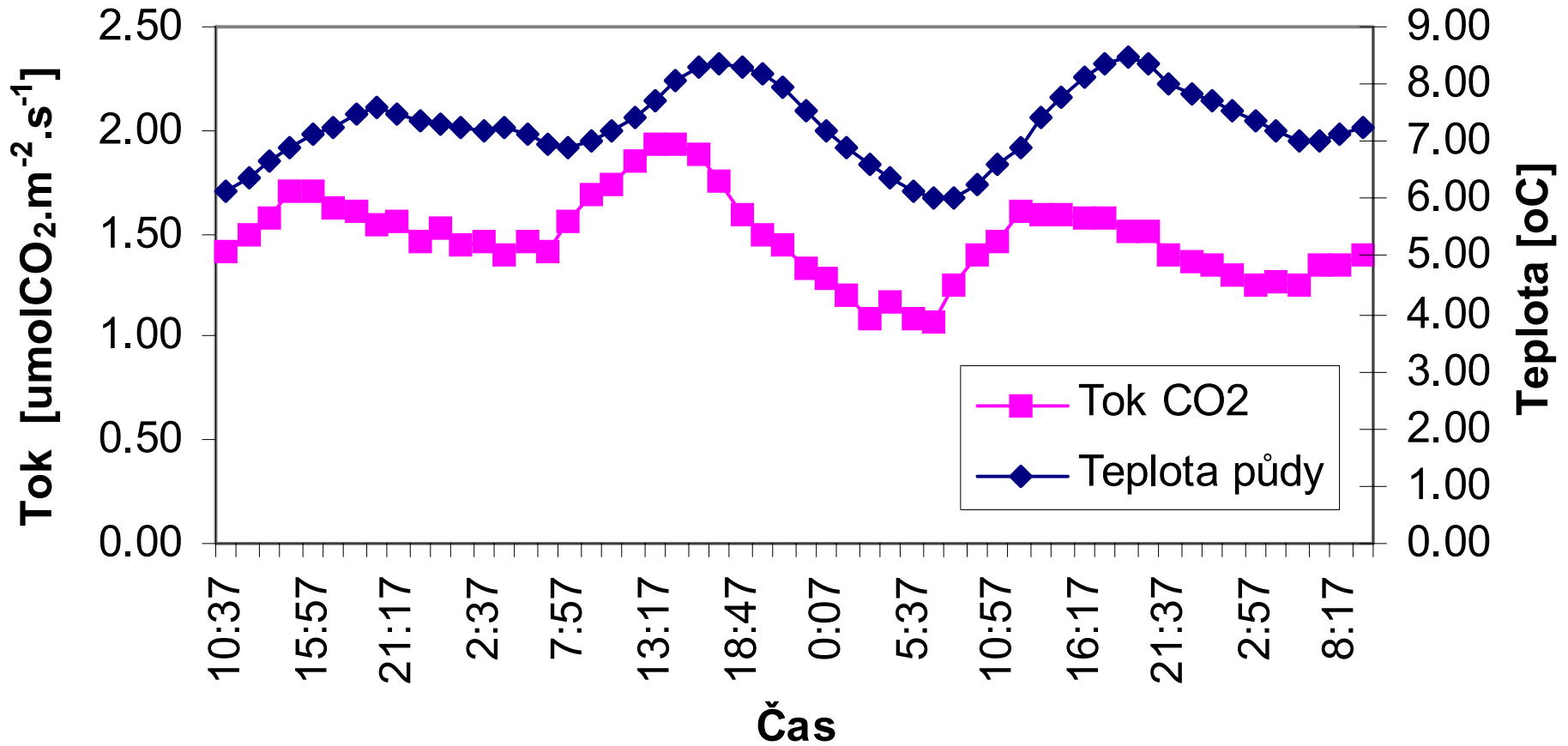
Denní chody respirace jednotlivých komponent *SM* porostu



Daily course of woody-tissue CO₂ efflux and temperature



Dynamika teploty půdy a toku CO₂

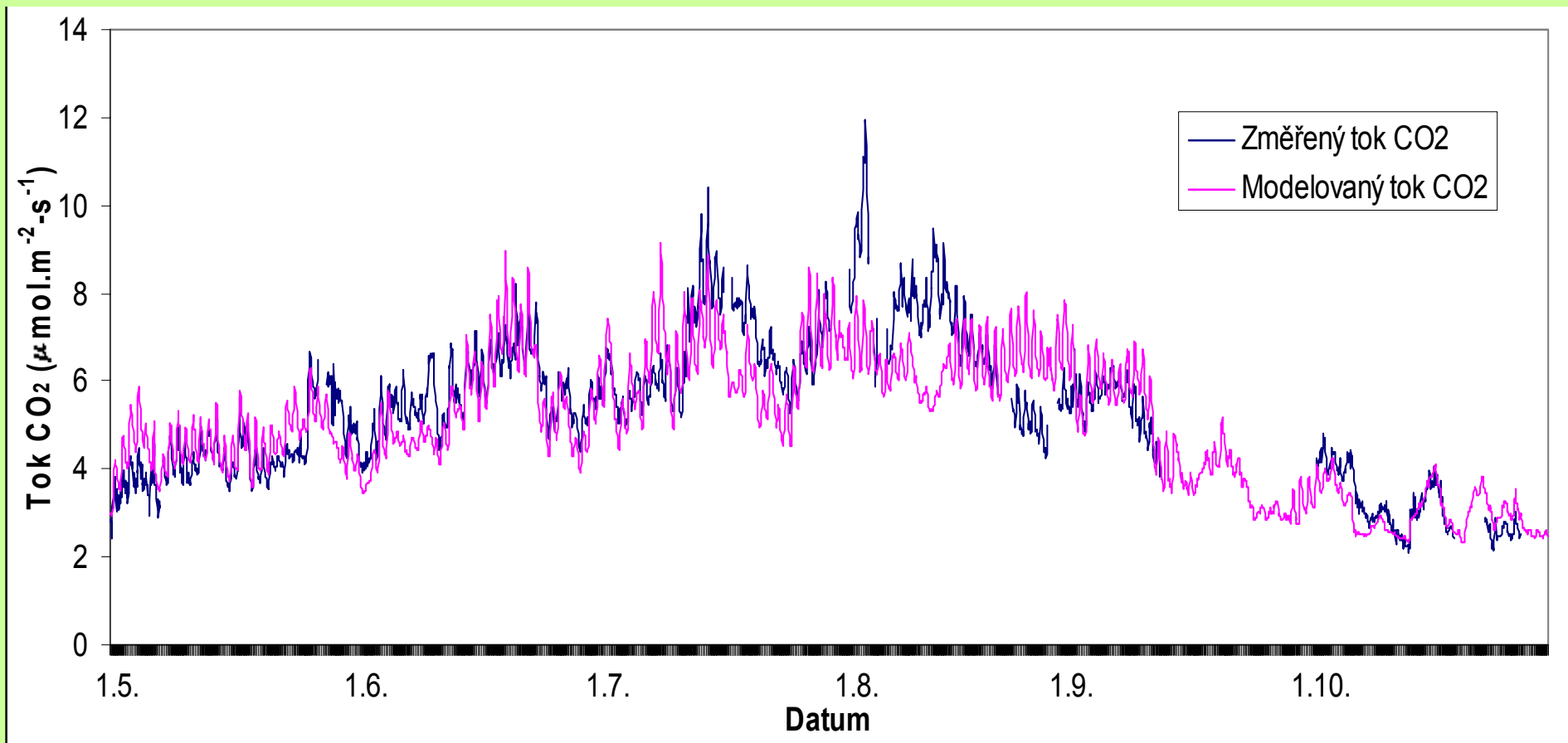


Denní chody toku CO₂ a teploty v komoře č. 8 ve dnech 8. - 11. 5. 2001

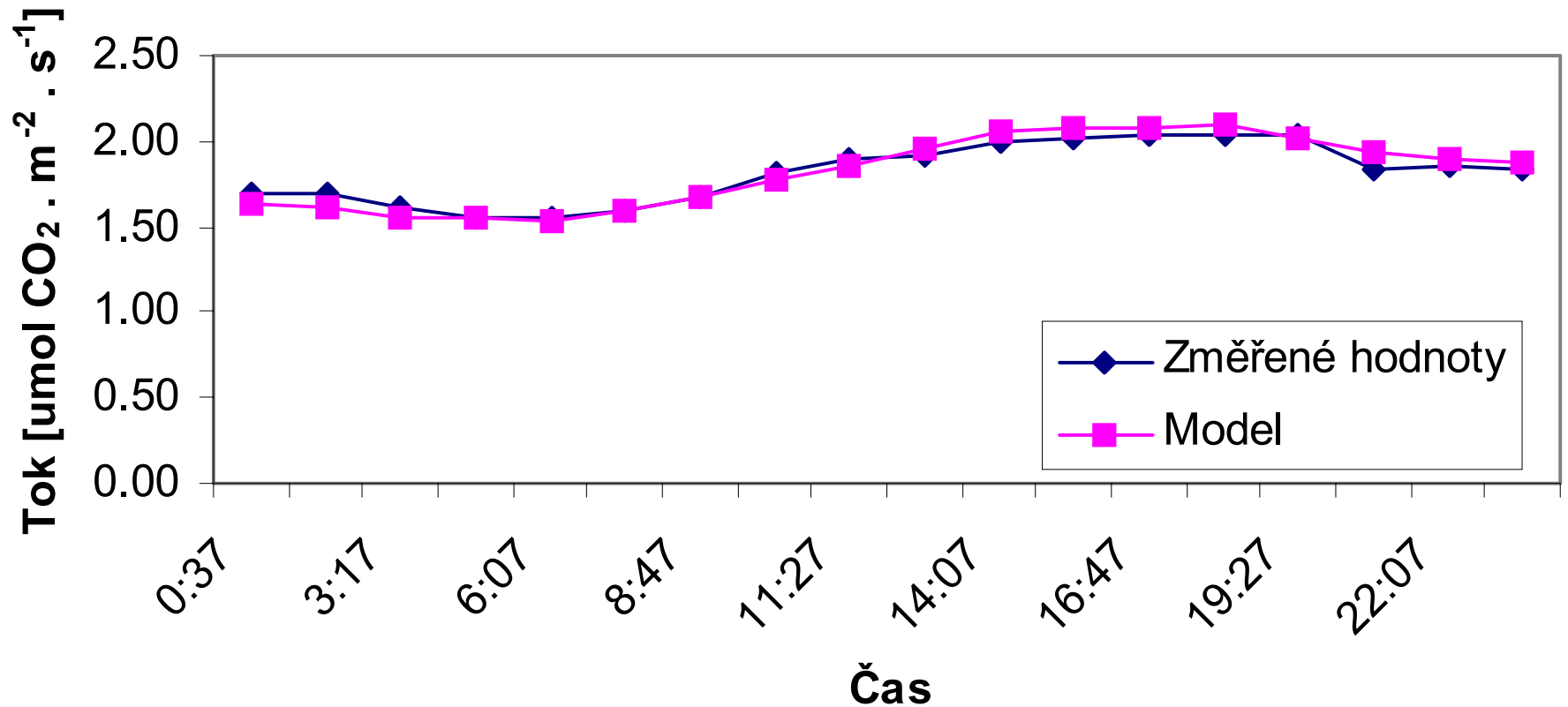
Časový posun chodu respirace a teploty (lag time)

Sestavení modelu toku CO₂ z půdy

Sezónní chod změřeného a modelovaného toku CO₂ z půdy



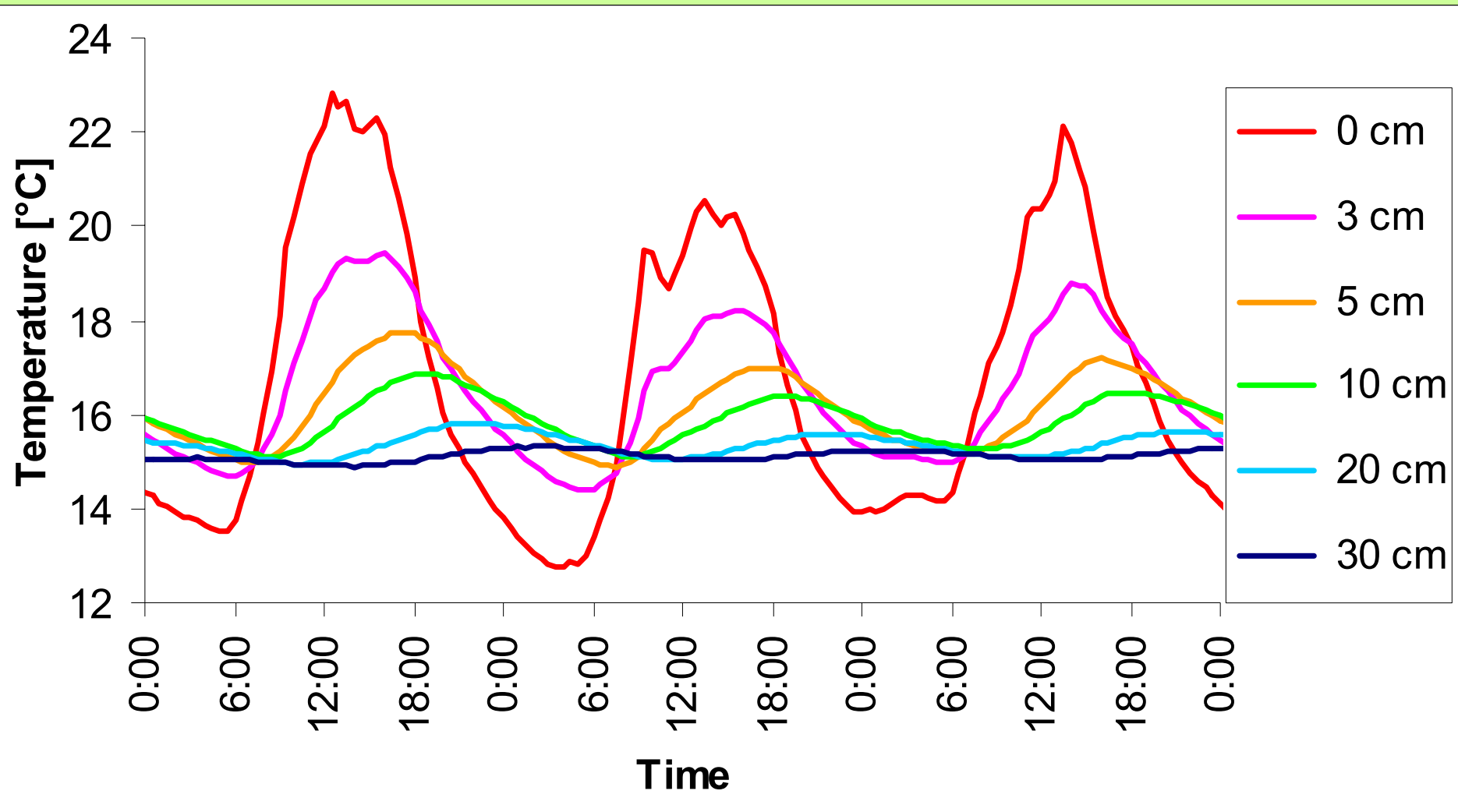
Porovnání změřeného a modelovaného toku CO₂



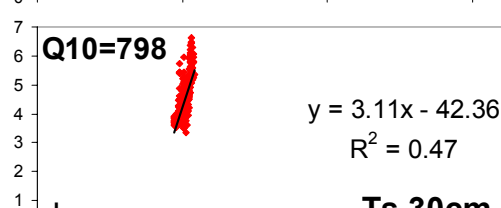
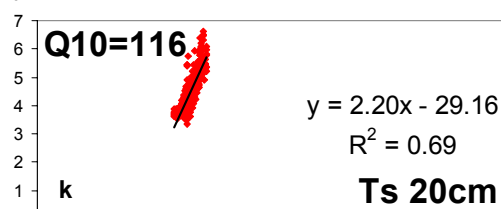
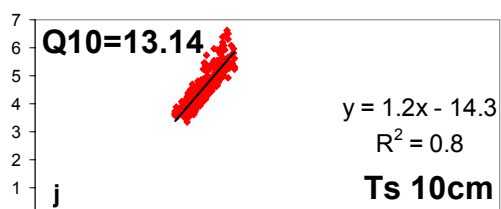
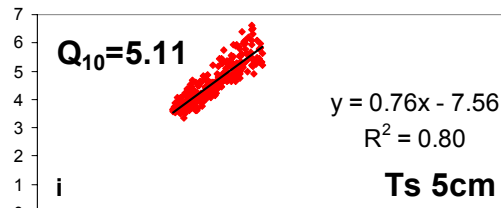
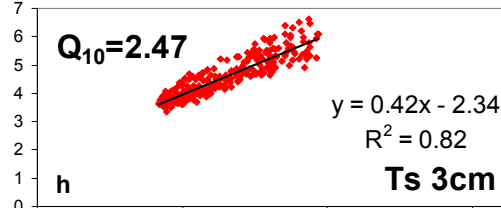
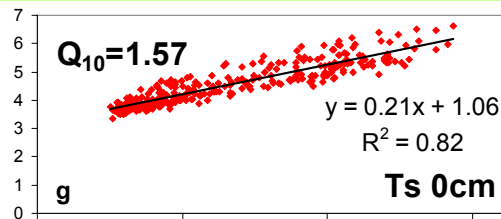
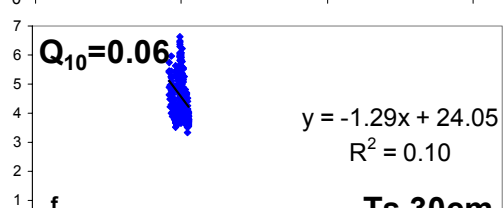
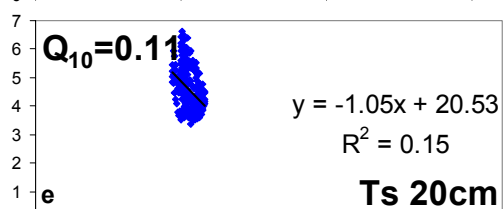
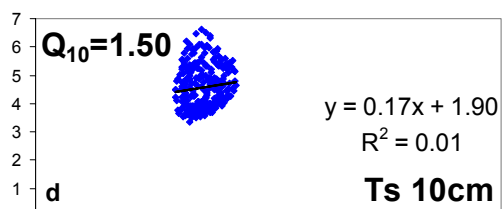
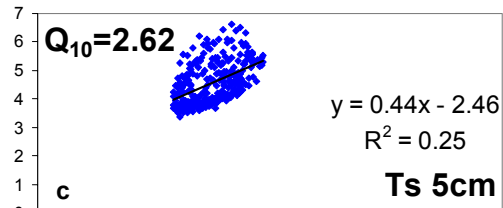
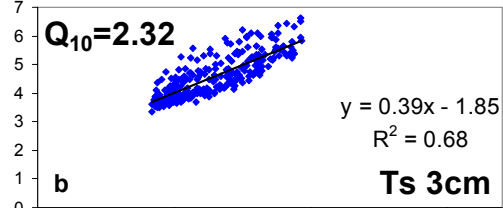
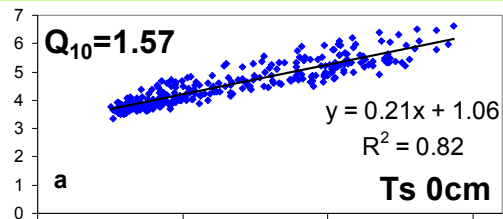
Změřený a modelovaný denní chod toku CO₂ z půdy v komoře č. 8 ze dne 10. 5. 2001 (lag time=80 min; R²=0,95)

Modelováno dle Arrheniovy rovnice: $R = R_{10} \cdot e^{308.56 \left(\frac{1}{56.02} - \frac{1}{T-227.13} \right)}$

Q_{10} versus depth
of Ts measurement depth I.



Soil CO₂ efflux [$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]



Soil temperature [$^{\circ}\text{C}$]

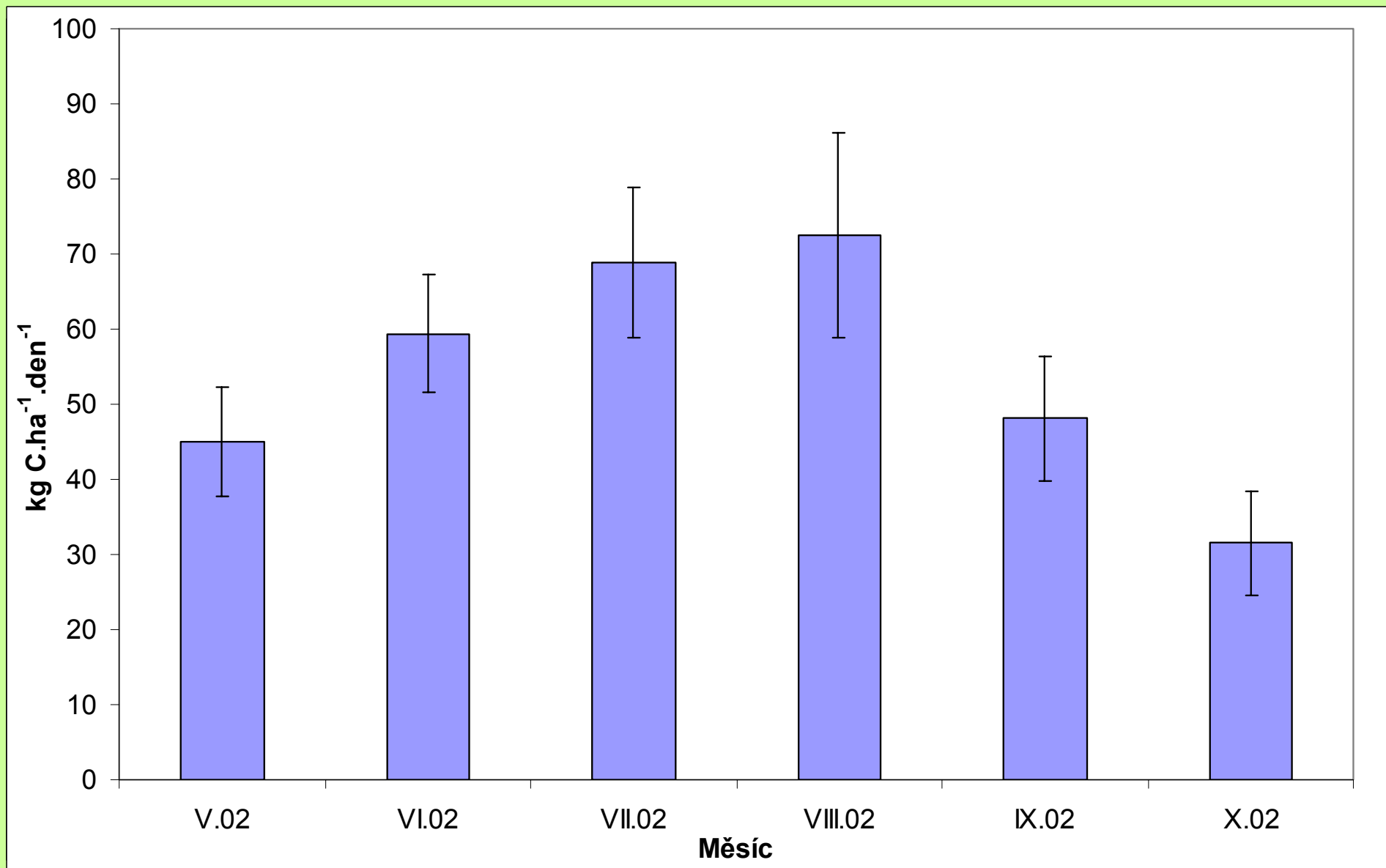
Q_{10} versus depth
of Ts measurement depth
III.

Before synchronization

Synchronized data

Výdej uhlíku z půdy

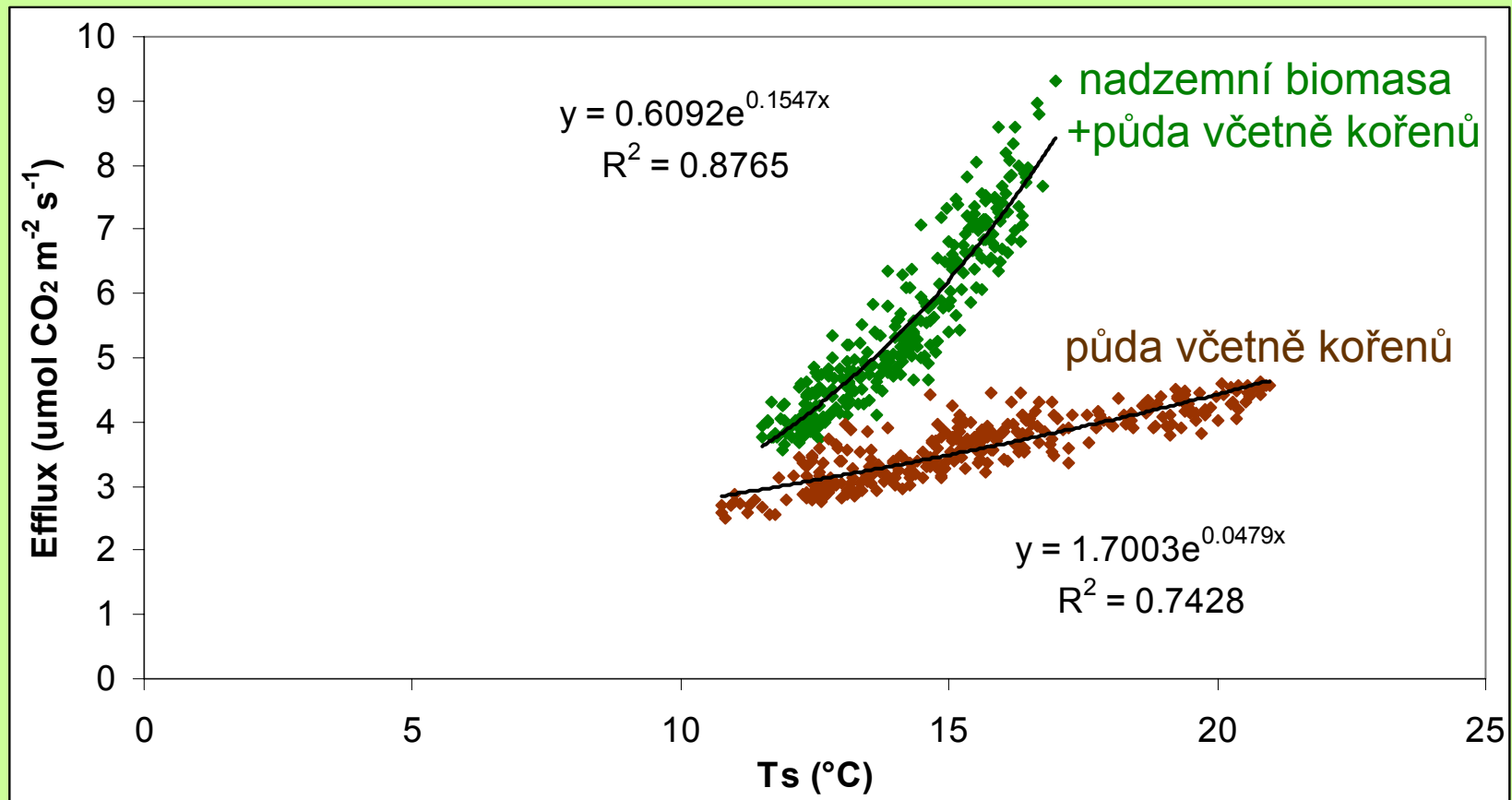
Průměrný denní tok uhlíku za jednotlivé měsíce vegetační sezóny 2002





Respirace – louka

vliv odstranění nadzemní biomasy

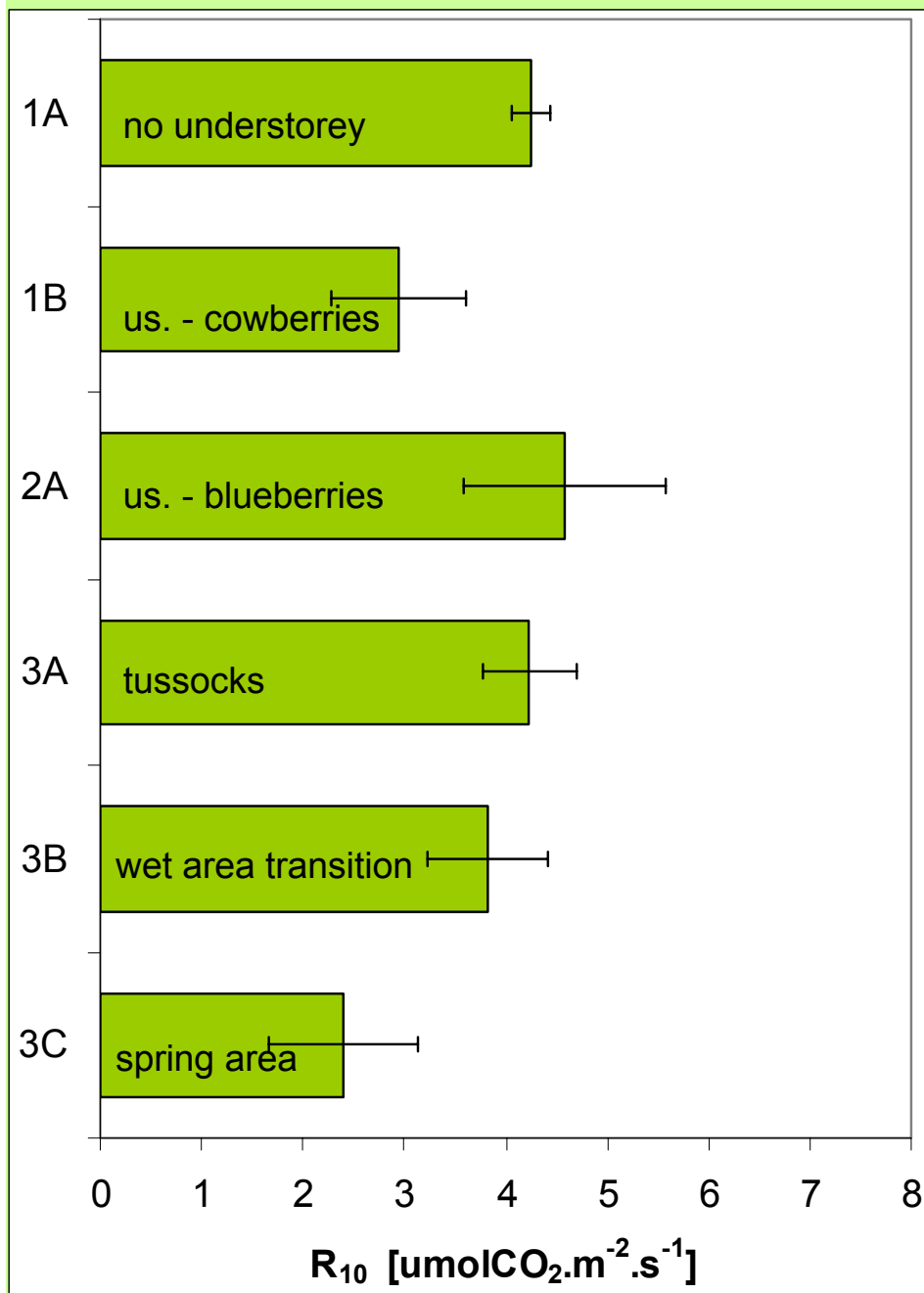


Renon - Ritten site - respirace půdy a podrostu



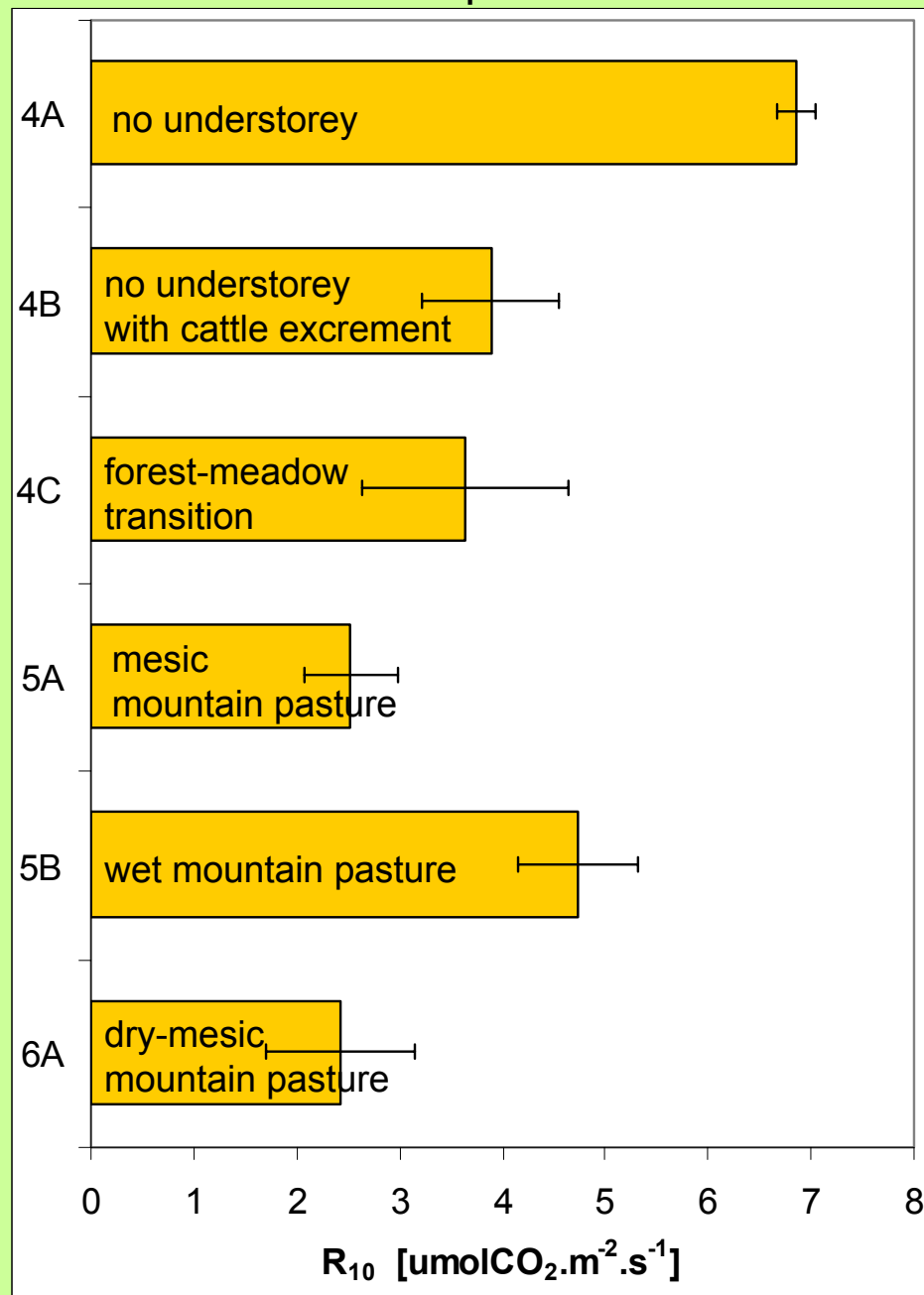
ICP-IM site IT01 - EUROFLUX site: RENON-RITTEN
Concessione S.M.A. nr. 12-214, 07.07.1997

Acidic Norway spruce forest - among masts

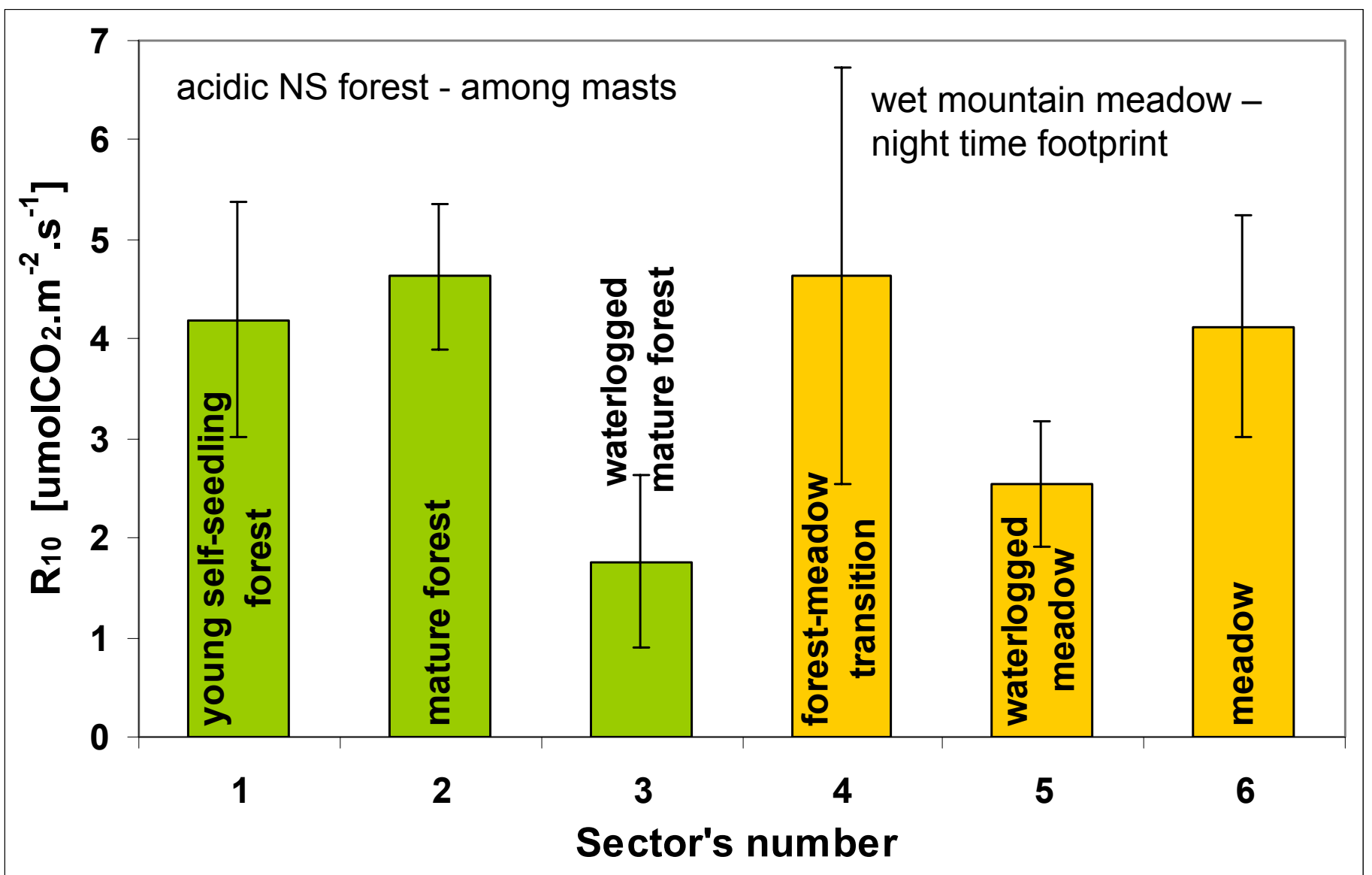




Wet mountain meadow – night time footprint

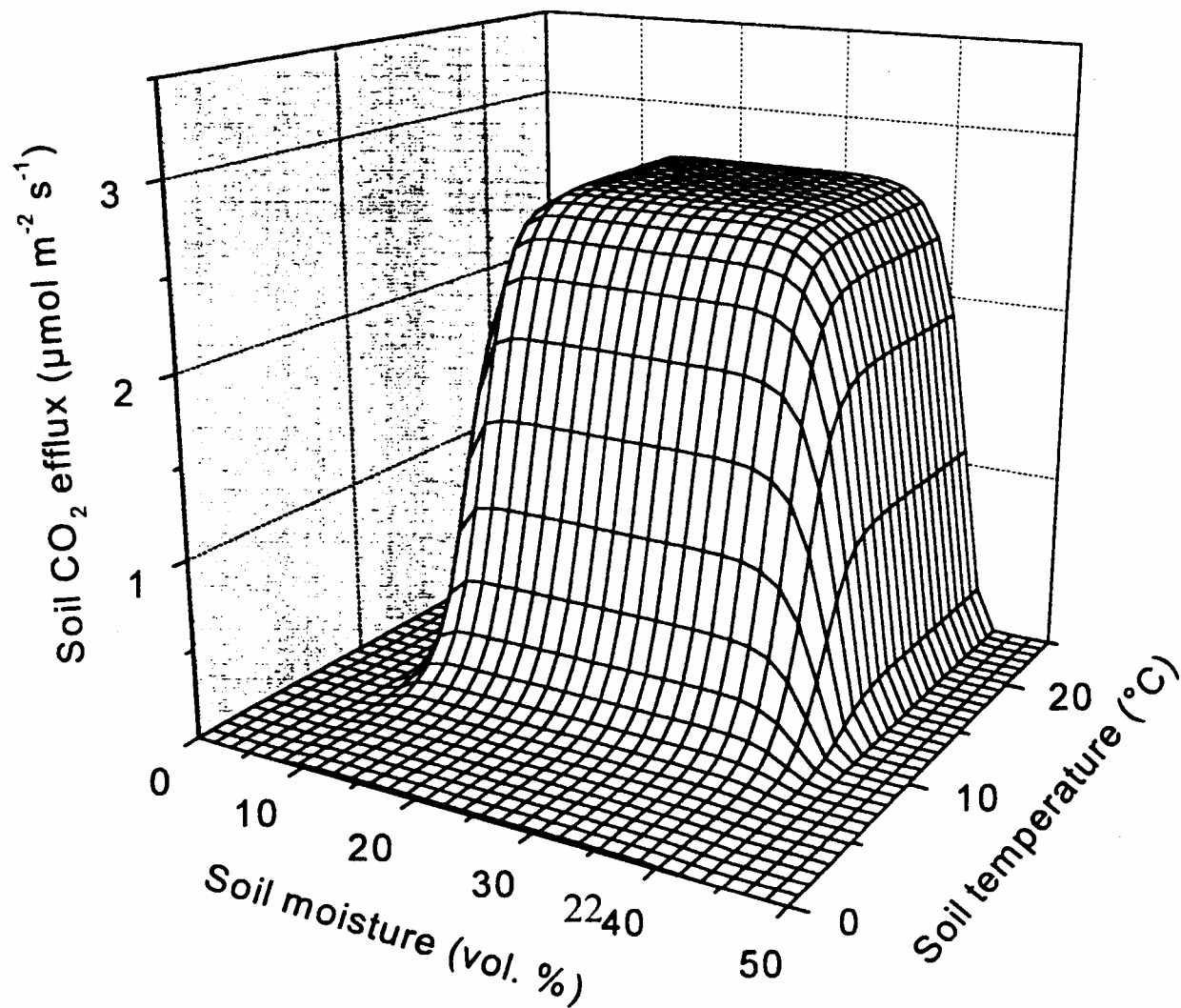


Spatial heterogeneity of soil CO₂ efflux



Respirace půdy závisí na:

teplotě
a vlhkosti

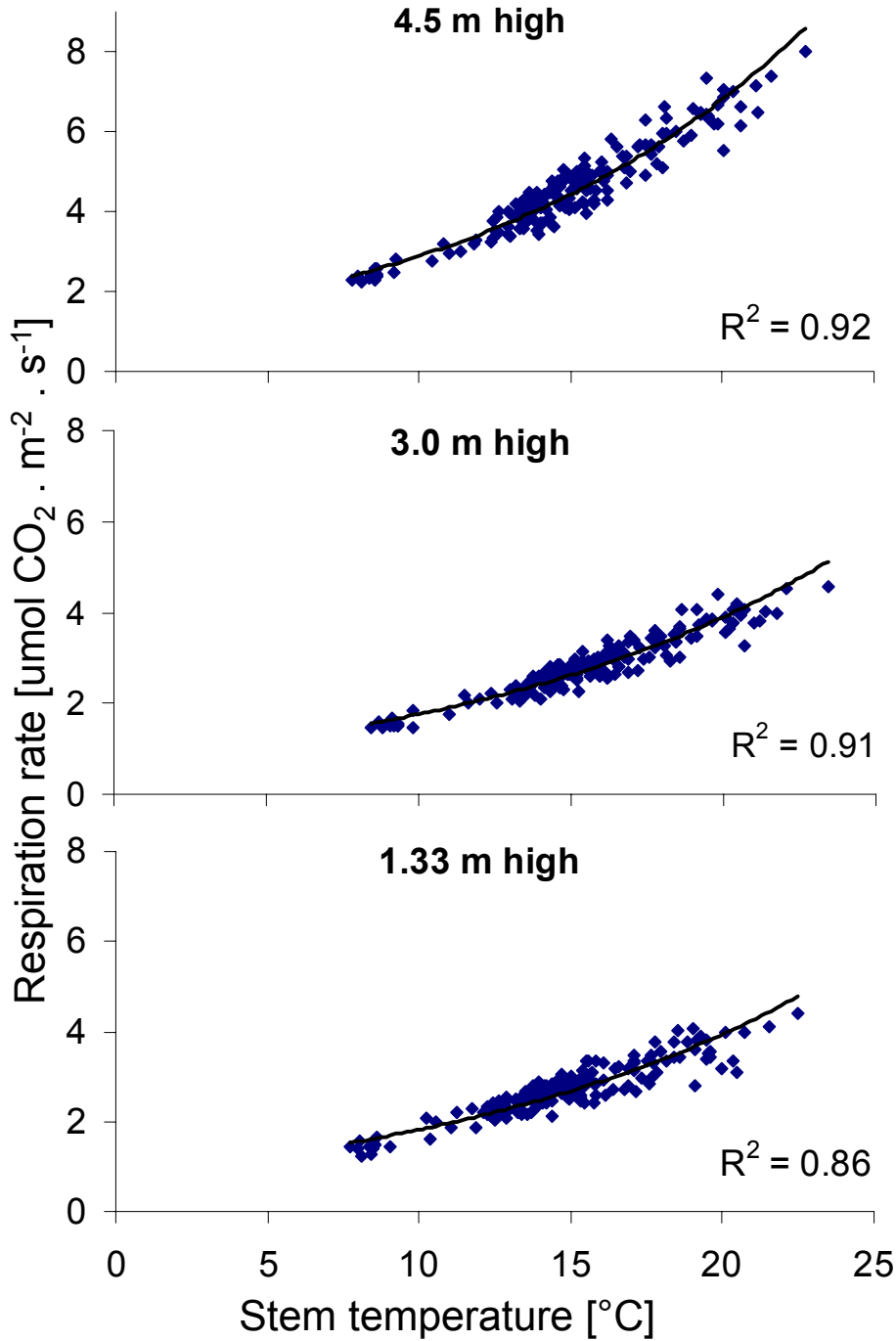
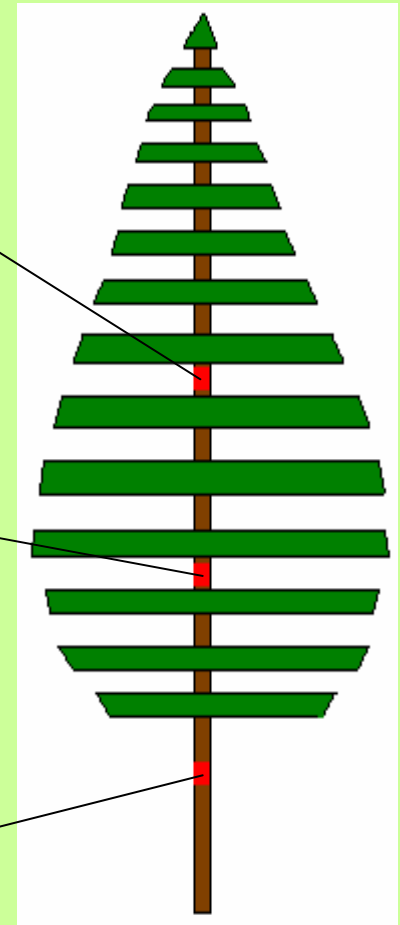


Stem respiration

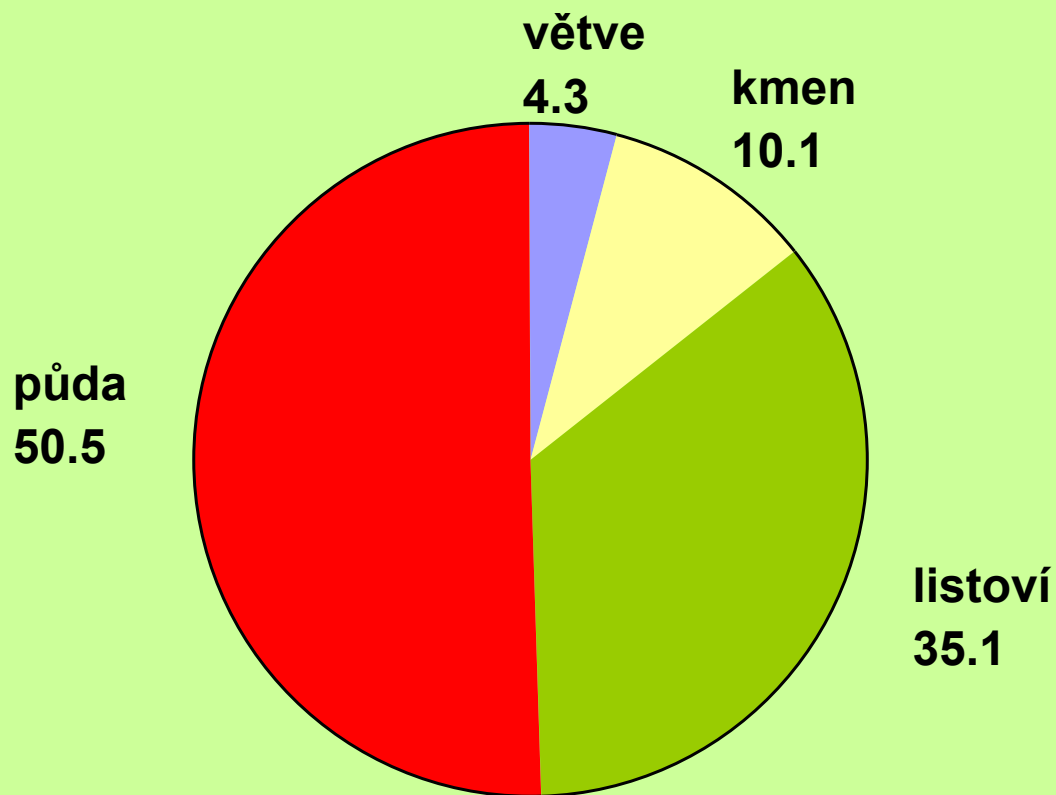
$$R_{15} = 4.44$$

$$R_{15} = 2.63$$

$$R_{15} = 2.69$$



Podíl jednotlivých složek lesního porostu na jeho celkové respiraci [%]

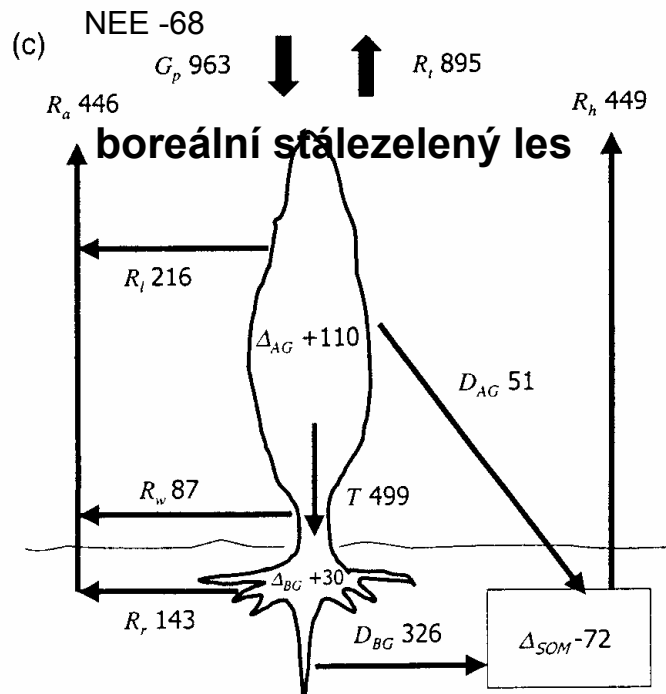
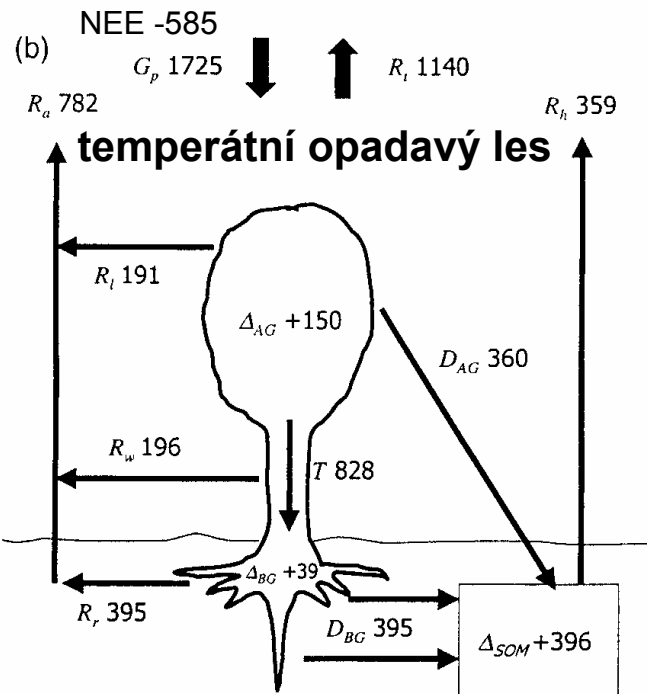
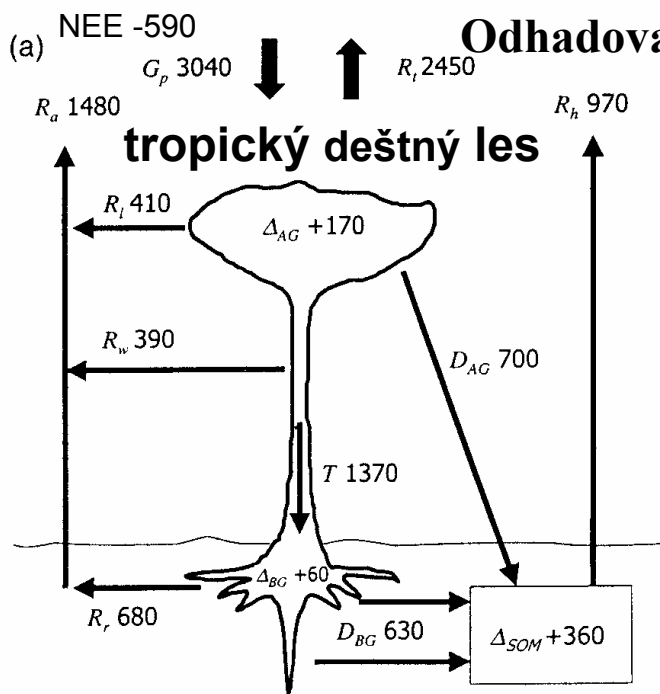


Respirace mladého SM porostu

při 10°C

	umol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	g CO ₂ m ⁻² den ⁻¹	kg CO ₂ ha ⁻¹ den ⁻¹	kg C ha ⁻¹ den ⁻¹
příklad	1	0.000044009	3.8	38.0	10.4
půda	2.68	0.000117944	10.2	101.9	27.8
nadzemní	4.20	0.000184838	16.0	159.7	43.6
celkem	6.86	0.000301902	26.1	260.8	71.2

Odhadovaný celkový roční tok CO₂ na třech studovaných plochách



- G_p – hrubá primární produkce
- R_t – celková respirace
- R_a – autotrofní respirace
- R_l – růstová respirace
- R_w – nadzemní respirace dřeva
- R_r – respirace kořenů
- R_h – heterotrofní respirace
- D_{AG} – opad
- D_{BG} – podzemní detrit (odumřelé kořeny, vlášení, exudáty)

- T – translokace uhlíku do podzemních částí
- Δ_{AG} – čistý přírůst uhlíku nadzemní biomasy
- Δ_{BG} – čistý přírůst uhlíku podzemní biomasy
- Δ_{SOM} – čistý přírůst uhlíku edafonu

Hodnoty jsou uváděny v g C m⁻² rok⁻¹.

A scenic landscape photograph of a sunset over a valley. The sun is low on the horizon, casting a warm, golden glow across the sky and the distant hills. The foreground is dominated by the dark silhouettes of evergreen trees. The sky is filled with soft, wispy clouds, some of which are illuminated by the setting sun, creating a dramatic and peaceful atmosphere.

Děkuji za pozornost