



Univerzita Palackého
v Olomouci

**Úvod do obecné a fyzikální chemie
KFC/UOFCH
Struktura atomů a molekul
KFC/SAM**

9. Volná energie molekul

Karel Berka

karel.berka@upol.cz

Osnova kurzu

- Úvod – půjdeme „odspodu“
- Stavba
 - Elementární částice
 - Atomy
 - Molekuly
 - Makromolekuly
- Pohyby molekul
- Interakce
 - V rámci molekul
 - Mezi molekulami
 - Se světlem

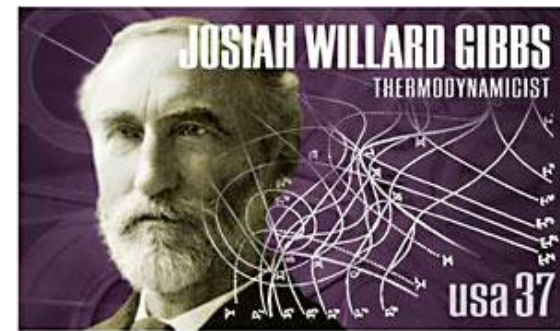
Shrnutí z minula

- **0. zákon TMD (teplota)**
- **1. zákon TMD (zákon zachování energie)**
 $\Delta U = q + w$
- **2. zákon TMD (entropie)**
 $\Delta S = q/T$
- **3. zákon TMD (0 K -> S=0)**

Spojení I. A II. věty termodynamiky



Volné energie



Helmholtzova energie	Gibbsova energie
$A = U - TS$	$G = H - TS$
$dA = dU - (TdS + SdT) =$ $= (dQ + dW) - TdS - SdT =$ $= (TdS - pdV + dW^*) - TdS - SdT$ $= -pdV + dW^* - SdT$	$dG = dH - (TdS + SdT) =$ $= (dU + pdV + dW) - TdS - SdT =$ $= TdS - pdV + pdV + dW^* - TdS - SdT =$ $= dW^* - SdT$
Při konst T:	Při konst T:
$dA = -pdV + dW^* = dW$	$dG = dW^*$
A (Arbeit) \rightarrow max. práce	$G \rightarrow$ max. neobjem. práce

- dW^* - neobjemová práce

Maxwellovy rovnice

$$df(x, y) = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)_x dy$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_y = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)_x$$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_S dV = TdS - pdV$$

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_p dS + \left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_S dp = TdS + Vdp$$

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p dT + \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T dp = -SdT + Vdp$$

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_T dV = -SdT - pdV$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial S \partial V} = + \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_S = - \left(\frac{\partial p}{\partial S} \right)_V$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial S \partial p} = + \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_S = + \left(\frac{\partial V}{\partial S} \right)_p$$

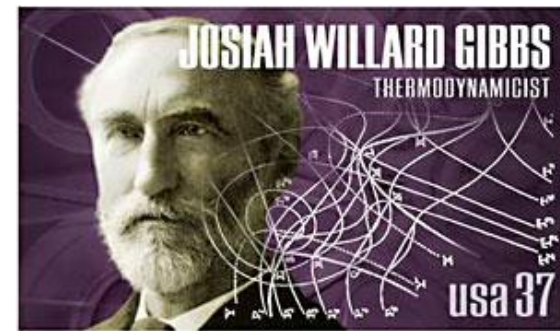
$$\frac{\partial^2 G}{\partial T \partial p} = - \left(\frac{\partial S}{\partial p} \right)_T = + \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial T \partial V} = - \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = - \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$$

Termodynamické potenciály

Vnitřní energie	Enthalpie	Helmholtzova energie	Gibbsova energie
U	$H = U + pV$	$F = U - TS$	$G = H - TS$
$dU = TdS - pdV$	$dH = TdS + Vdp$	$dF = -SdT - pdV$	$dG = -SdT + Vdp$
$U = U(S, V)$	$H = H(S, p)$	$F = F(T, V)$	$G = G(T, p)$
adiabaticko- izochorický děj	adiabaticko- izobarický děj	izotermicko- izochorický děj	izotermicko- izobarický děj

$\dots + d\omega_{neobj.}$ neobjemová práce, např. $\dots + \sigma dS + \sum_i \mu_i dn_i$



Gibbsova energie

$$G = H - TS$$

(T, p = konst)

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

- K čemu je? kritérium spontánnosti a bere ohled i na okolí

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S + \Delta S_{\text{okolí}}$$

(T, p = konst)

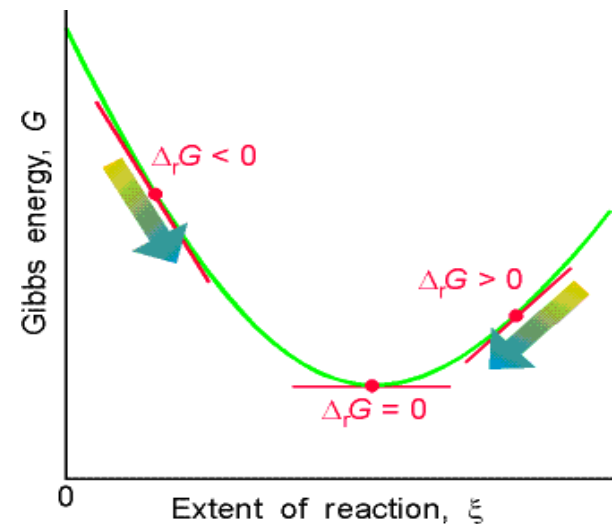
$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S - \Delta H/T$$

$$\Delta G = - T\Delta S_{\text{total}}$$

reakce: $\Delta_r G = \sum \Delta_r G_{\text{podreakcí}}$

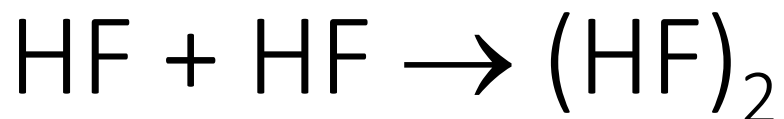
$\Delta_r G < 0$ endoergická reakce

$\Delta_r G > 0$ exergická reakce



Kritéria termodynamické rovnováhy

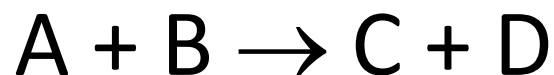
funkce	podmínka extrému	druh extrému
entropie	$dS = 0, [U, V]$	maximum
entropie	$dS = 0, [H, p]$	maximum
vnitřní energie	$dU = 0, [S, V]$	minimum
entalpie	$dH = 0, [S, p]$	minimum
Helmholtzova energie	$dF = 0, [T, V]$	minimum
Gibbsova energie	$dG = 0, [T, p]$	minimum



	HF (Hartree)	2x HF (Hartree)	(HF) ₂ (Hartree)	Δ (Hartree)	Δ (kcal/mol)
E	-98.5729	-197.1457	-197.1545	-0.0088	-5.5
H(0 K)	-98.5627	-197.1253	-197.1295	-0.0042	-2.6
H(298 K)	-98.5594	-197.1187	-197.1247	-0.0060	-3.7
G(298 K)	-98.5791	-197.1583	-197.1532	0.0051	3.2

- Energeticky je výhodnější dimer (H...F)
- Entropicky jsou výhodnější samostatné molekuly

Gibbsova energie a rovnováha



$$\mu_A = \mu_A^\circ + RT \ln a_A$$

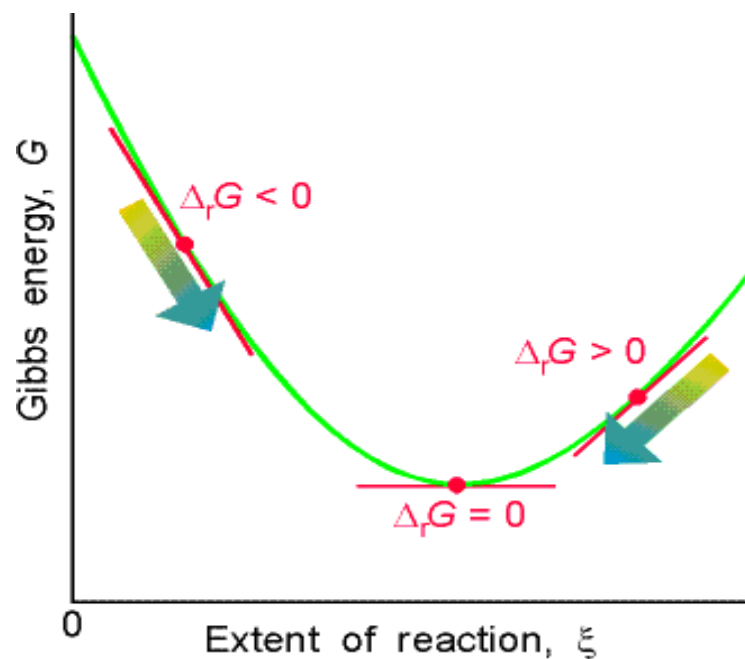
$$G_A = G_A^\circ + RT \ln [A]$$

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

$$\Delta_r G = \Delta_r G^\circ + RT \ln K$$

v rovnováze $\Delta_r G = 0$

$$\Delta_r G^\circ = -RT \ln K$$

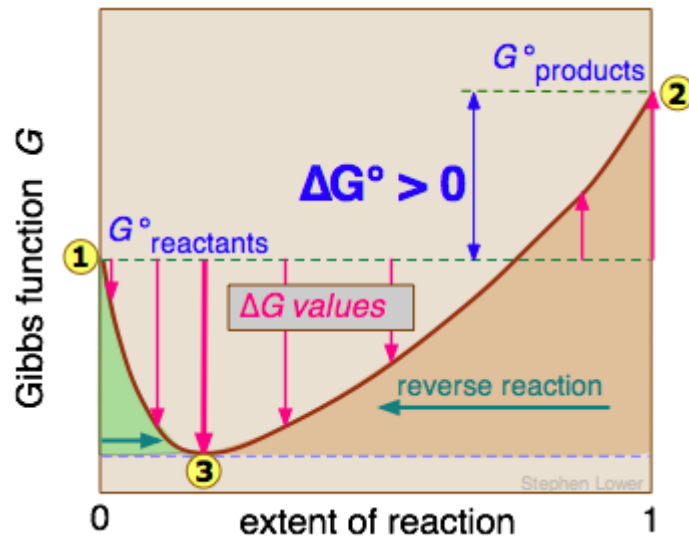
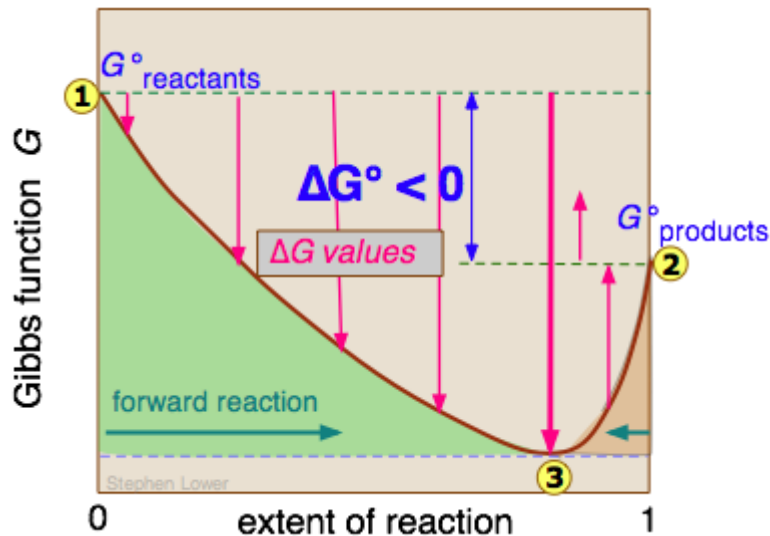


$$G = n_A \mu_A + n_B \mu_B$$

μ_A – chemický potenciál A

dG vz dG° vz dG'

- dG – aktuální Gibbsova energie
- dG° - standardní Gibbsova energie
 - $a_{\text{vše}}=1$, tj. $a_{\text{H}_3\text{O}^+} = 1 \leftarrow \rightarrow \text{pH} = 0$
- dG' – biochem. standard ($\text{pH} = 7$)
 - $dG' = dG^\circ + 7\nu RT \ln 10$, kde ν je počet H_3O^+ v reaktantech

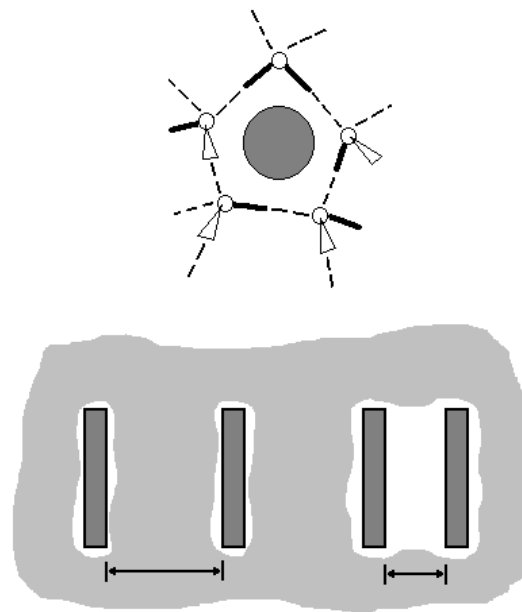
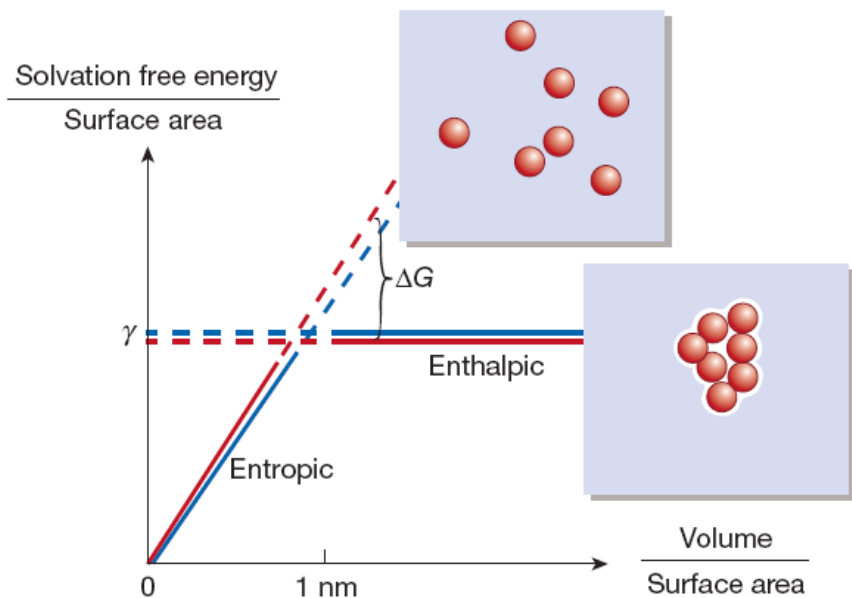


Chemické a biologické procesy

$$\Delta G < 0 \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

- Většina reakcí realizována pro $\Delta H < 0$ (uvolnění tepla)
- ALE občas je teplo spotřebováno a v té chvíli je důležitá entropická složka

Hydrofobický efekt



Rozdíl v hydrataci
malého hydrofobního tělesa a
velkého hydrofobního tělesa²

[1] Chandler, *Nature*, **2005**, 437:640-647

[2] Lum *et al.*, *J. Phys. Chem. B*, **1999**, 103 (22):4570–4577

Skládání proteinů (folding)

Proteiny velmi málo stabilní

- Pro 100 aa protein:

$$\Delta H \approx 400 \text{ kJ mol}^{-1}$$

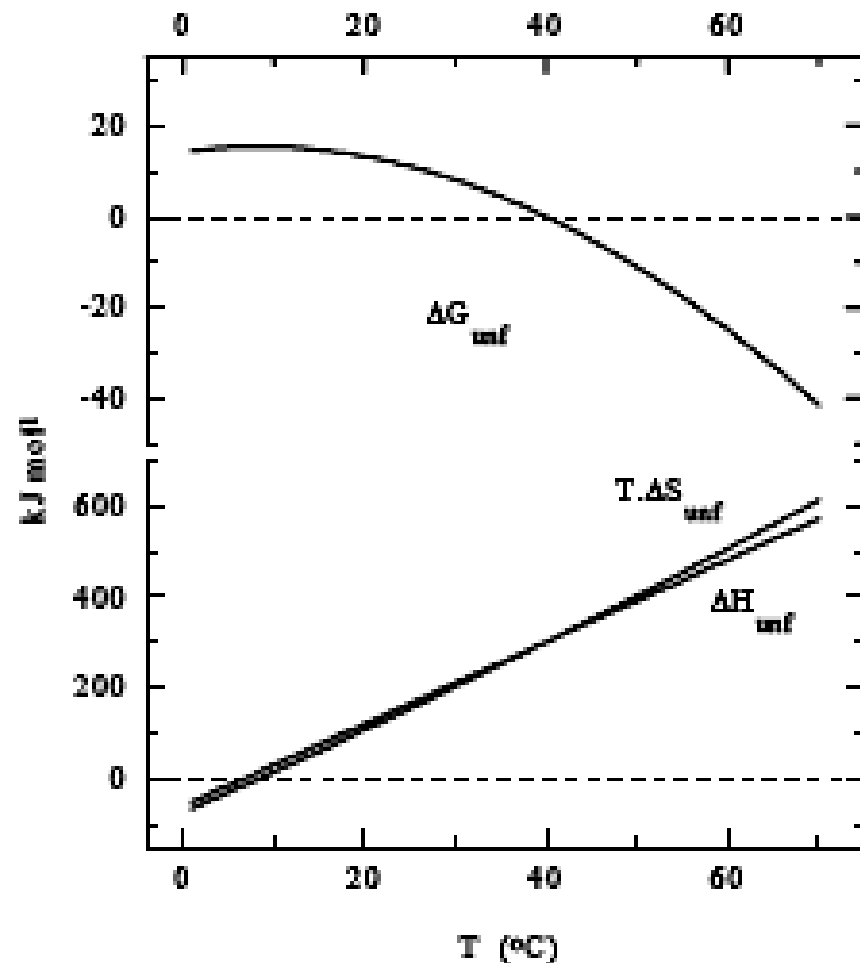
$$T\Delta S \approx 400 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta G \approx -10 \text{ kJ mol}^{-1}$$

tep. pohyb 2.5 kJ.mol^{-1} /stupeň volnosti

stupňů volnosti $3 \cdot 100$

- Nutno započítat všechny interakce jak mezi aa, tak i s vodou

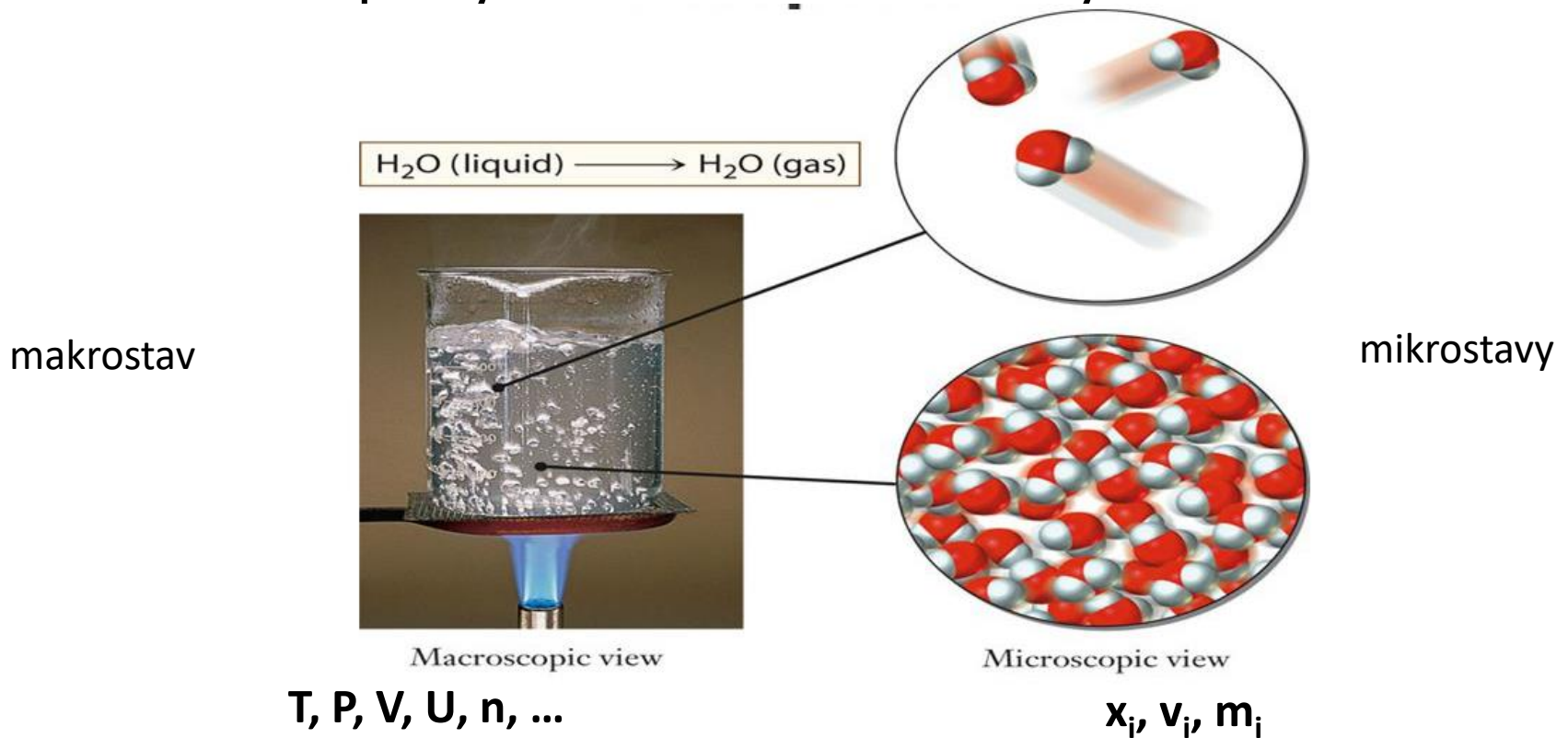


[1] Cooper, A. in "Protein: A Comprehensive Treatise" edited by Allen, G. (1992) 2, pp. 217-270, JAI Press Inc.

Statistická termodynamika

STATISTICKÁ TERMODYNAMIKA

- spojovací článek mezi mikroskopickými a makroskopickými vlastnostmi hmoty



Statistická TMD

molekulární vlastnosti ► termodynamické vlastnosti souboru

(vlastnosti souboru jsou dány průměrných chováním velkého souboru molekul)

Energie je kvantovaná ► omezená na určité diskrétní hladiny (energetické hladiny – rotace, vibrace, přechody elektronů)

Populace stavů

$T = 0$ ► populován jen nejnižší stav

$T = \infty$ ► všechny stavy populovány stejně

Boltzmannův distribuční zákon

$$\frac{N_i}{N_j} = e^{\frac{-(E_i - E_j)}{kT}}$$

Poměry pro rozdíly energií:

děj	ΔE	N_i/N_j
Excitace	$\sim 3\text{eV}$ (300 kJ/mol)	298 K $\rightarrow e^{-120}$ (10^{-53}) 10000 K $\rightarrow 1/100$
Vibrace	~ 10 kJ/mol	298 K $\rightarrow 1/60$
Rotace	ještě menší	298 K \rightarrow mnoho

Partiční funkce – Q, Z

- Distribuce částic přes dostupné stavy

- $\beta = 1/kT$

- Molekulová partiční funkce

g_i – degenerace v hladinách

$$\frac{n_i}{N} = \frac{e^{-\beta \varepsilon_i}}{\sum_i e^{-\beta \varepsilon_i}} = \frac{e^{-\beta \varepsilon_i}}{Q}$$

$$Q = \sum_i e^{-\beta \varepsilon_i}$$

$$Q = \sum_i g_i e^{-\beta \varepsilon_i}$$

Partiční funkce – Q, Z

$\lim Q(T \rightarrow 0) = g_0$ ► degenerace základního stavu

$\lim Q(T \rightarrow \infty) = \infty$ ► všechny stavy populovány stejně

Q - indikuje průměrný počet stavů dosažitelných při určité teplotě

K určení Q musíme znát energie hladin i jejich obsazení

Pravděpodobnost obsazení stavu $P_s = \frac{1}{Q} e^{-\beta E_s}$

(Q je tak normalizační faktor – $\sum_s P_s = \frac{1}{Q} \sum_s e^{-\beta E_s} = \frac{1}{Q} Q = 1$)

Z - *Zustandssumme*, "sum over states"

Termodynamický soubor

- systémy složené z interagujících molekul
- uzavřený systém o daném objemu, složení a teplotě -> X x
- tepelný kontakt, výměna energie

kanonický soubor:	stejně N, V, T	(uzavřený)
mikrokanonický soubor:	stejně N, V, E	(izolovaný)
velký kanonický soubor:	stejně μ, V, T	(otevřený)

Kanonický soubor

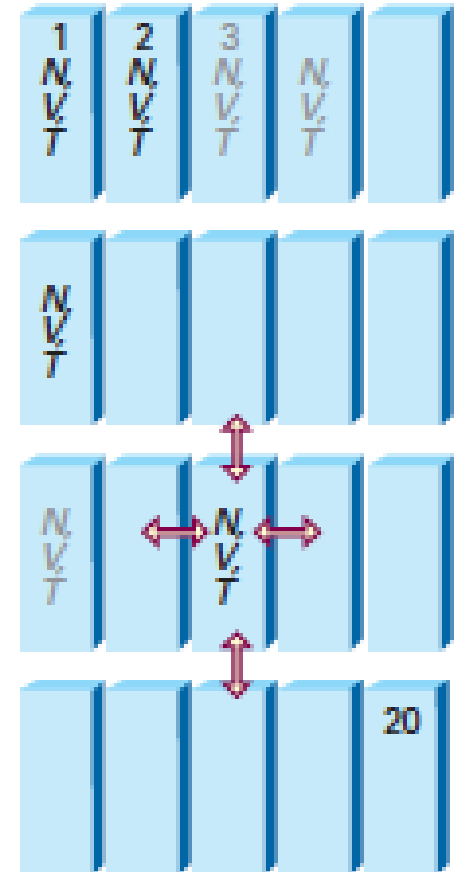
- konfigurace souboru – analogicky jako konfigurace systému
- jedna konfigurace dominantní – vhodná pro přesný výpočet termodynamických vlastností

$$\frac{\tilde{N}_i}{\tilde{N}} = \frac{e^{-\beta \varepsilon_i}}{Q}$$

$$\tilde{W} = \frac{\tilde{N}!}{\tilde{N}_0! \tilde{N}_1! \dots}$$

$$Q = \sum_i e^{-\beta \varepsilon_i}$$

- pravděpodobnost výskytu prvků souboru v jednotlivém stavu systému **i**, který má energii **E_i**
- **Q** se nazývá **kanonická partiční funkce**



STATISTICKÁ ENTROPIE

- je definovaná **Boltzmannovým vztahem:**

$$S = k_B \ln W$$

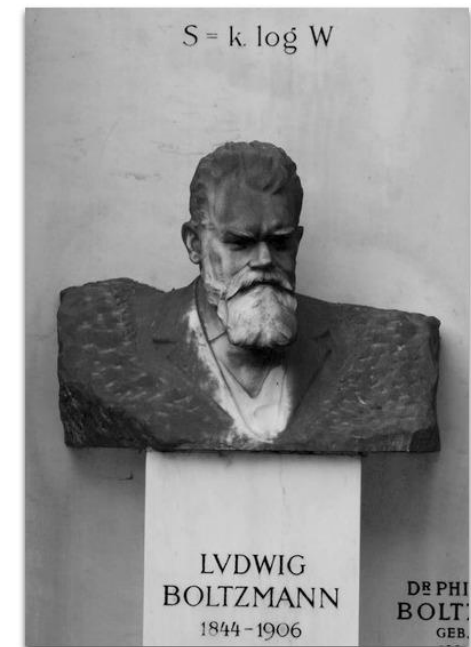
- W – váha nejpravděpodobnější konfigurace v systému
- statistická entropie – chová se stejně jako termodynamická entropie
- při snížení teploty se sníží W i S
- v limitě $T \rightarrow 0$ je $W = 1$, $S \rightarrow 0$ (v souladu se III. větou termodynamiky)
- entropie z partiční funkce:

$$S = k_B \ln Q + k_B T \left(\frac{\partial \ln Q}{\partial T} \right)_V$$

- Boltzmannova konstanta: $k_B = 1.38065 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
- zobecnění pro kanonický soubor:

$$S = -k_B \sum_i p_i \ln p_i$$

- suma přes energetické hladiny, p_i – pravděpodobnost obsazení i -té hladiny



Ekvipartiční teorém

- "rovnoměrné rozdělení"
- na každý stupeň volnosti připadá stejná průměrná energie
- průměrná energie stupňů volnosti, které přispívají k energii kvadraticky je $\frac{1}{2}k_B T$
- např. jednoatomový ideální plyn
 - 3 stupně volnosti
- průměrná energie každé částice: $\frac{3}{2}k_B T$
 - pro N částic (n molů): $U = \frac{3}{2}Nk_B T = \frac{3}{2}nN_A k_B T = \frac{3}{2}nRT$
- vztah mezi Boltzmannovou a Avogadrovou konstantou: $R = N_A k_B$
- molární tepelná kapacita pro jednoatomový plyn: $c_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = \frac{3}{2}R$
 - $c_p = c_v + R = \frac{5}{2}R$

TMD funkce z partičních funkcí

$$\langle E \rangle = \sum_s E_s P_s = \frac{1}{Z} \sum_s E_s e^{-\beta E_s} = -\frac{1}{Z} \frac{\partial}{\partial \beta} Z(\beta, E_1, E_2, \dots) = -\frac{\partial \ln Z}{\partial \beta}$$

$$\langle E \rangle = k_B T^2 \frac{\partial \ln Z}{\partial T}.$$

$$C_v = \frac{\partial \langle E \rangle}{\partial T} = \frac{1}{k_B T^2} \langle (\Delta E)^2 \rangle.$$

$$S \equiv -k_B \sum_s P_s \ln P_s = k_B (\ln Z + \beta \langle E \rangle) = \frac{\partial}{\partial T} (k_B T \ln Z) = -\frac{\partial A}{\partial T}$$

$$A = \langle E \rangle - TS = -k_B T \ln Z.$$

Shrnutí

- Spojením vět termodynamiky lze definovat tzv. volné energie, které určují samovolnost reakcí
- Gibbsova volná energie určuje maximální neobjemovou práci a odpovídá entropii systému i okolí v [p,T] systému
- Převod mezi rovnovážnou Gibbsovou volnou energií a rovnováhou je možný
 $dG^0 = -RT \ln K$

Zdroje energie

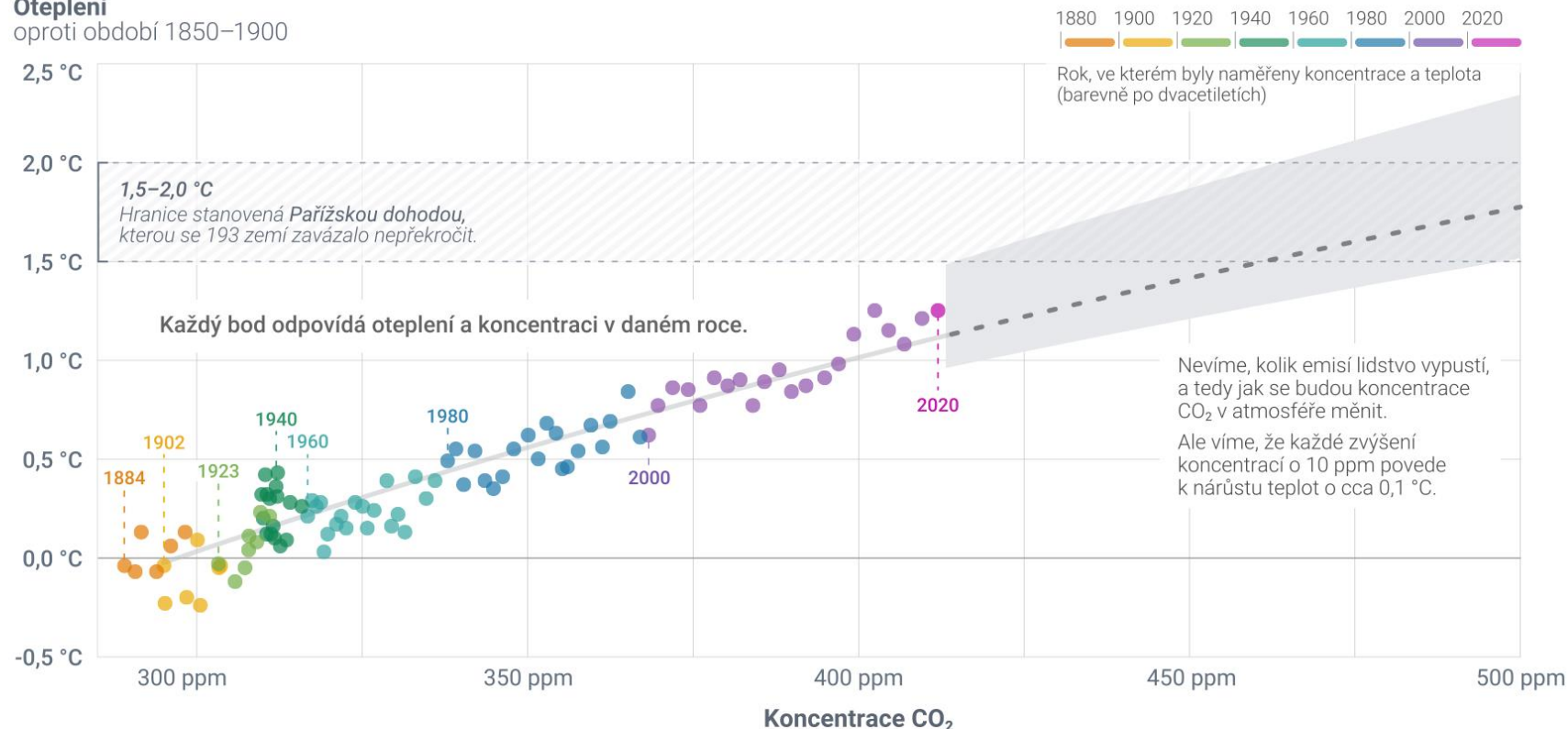
SOUVISLOST KONCENTRACE CO₂ A GLOBÁLNÍHO OTEPLOVÁNÍ

Čím vyšší jsou koncentrace CO₂ v atmosféře, tím vyšší je teplota planety.

Jak vysoké koncentrace CO₂ v atmosféře budou, záleží na tom, kolik emisí lidstvo vypustí.

Oteplení

oproti období 1850–1900



Koncentrace CO₂ se měří v ppm (parts per million, tedy počet částic na milion). Koncentrace 400 ppm CO₂ znamená, že v jednom milionu molekul vzduchu je 400 molekul CO₂. Oxid uhličitý (CO₂) přispívá ke globálnímu oteplování ze všech skleníkových plynů nejvýrazněji. Skleníkový efekt se zesiluje a CO₂ odpovídá za 70 % tohoto zesílení.





























VERZE 2022-11-22 LICENCE CC BY 4.0

více info na faktaoklimatu.cz/souvislost-koncentrace-oteplovani

zdroj dat: NOAA, NASA Goddard Institute for Space Studies

Per capita CO₂ emissions by country/territory [[edit](#)]

The data in the following table is extracted from [EDGAR - Emissions Database for Global Atmospheric Research](#).^[4]

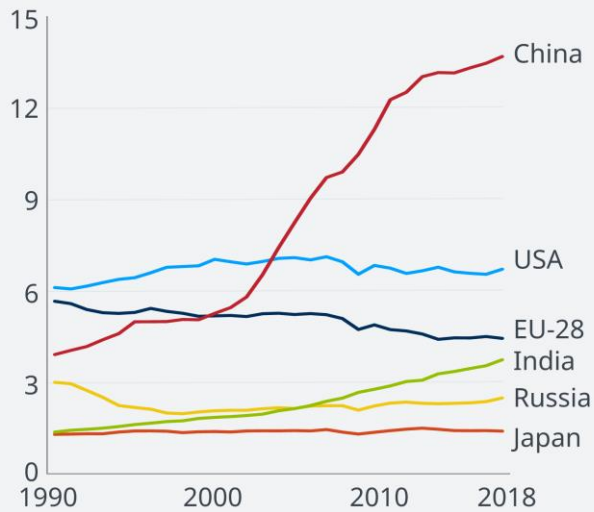
Country/territory	Per capita CO ₂ emissions (tCO ₂ /cap/year)					% of global total	Change (1990=100%)
	1970	1990	2005	2017	2022	2022	2022
↕	↕	↕	↕	↕	▼	↕	↕
GLOBAL TOTAL	4.28	4.22	4.58	4.89	4.84	100%	114.64% ▲
 Palau	173.68	142.83	87.12	55.05	59.00	1,218.25%	41.31% ▼
 Qatar	134.36	35.67	50.39	38.47	35.52	733.40%	99.58% ▼
 Kuwait	51.30	15.39	33.01	23.19	24.90	514.18%	161.81% ▲
 United Arab Emirates	82.50	30.55	26.72	21.83	21.75	449.03%	71.19% ▼
 Bahrain	13.92	24.15	26.26	22.60	21.31	440.02%	88.24% ▼
 Trinidad and Tobago	6.72	10.37	26.25	23.60	21.17	437.15%	204.18% ▲
 Brunei	15.73	12.89	14.15	17.34	20.65	426.40%	160.17% ▲
 Gibraltar	2.43	4.93	12.66	18.80	18.96	391.49%	384.45% ▲
 New Caledonia	9.94	9.25	12.13	18.12	18.24	376.56%	197.24% ▲
 Oman	10.11	8.58	13.12	17.75	17.09	352.78%	199.05% ▲
 Saudi Arabia	8.04	10.63	14.47	18.30	16.98	350.65%	159.72% ▲
 Canada (see: Greenhouse gas emissions by Canada)	16.60	15.90	17.85	16.25	15.22	314.27%	95.71% ▼
 Australia (see: Greenhouse gas emissions by Australia)	12.49	16.27	18.96	16.99	15.12	312.26%	92.97% ▼
 United States (see: Greenhouse gas emissions by the United States)	21.93	19.74	19.95	15.29	14.44	298.14%	73.16% ▼
 Russia (see: Greenhouse gas emissions by Russia)	10.87	15.95	11.97	12.02	13.31	274.80%	83.43% ▼
 Kazakhstan	9.82	15.03	11.70	12.32	12.85	265.38%	85.54% ▼
 Netherlands Antilles	101.06	18.18	45.68	24.95	12.41	256.13%	68.24% ▼
 South Korea	1.93	6.34	10.58	13.11	12.26	253.23%	193.45% ▲
 Luxembourg	54.13	30.67	26.46	15.75	12.26	253.07%	39.96% ▼
 Taiwan	2.47	6.00	11.81	12.27	11.52	237.84%	192.14% ▲
 Seychelles	2.04	3.83	10.94	11.49	11.29	233.10%	294.54% ▲
 Turkmenistan	12.91	12.41	11.13	11.56	11.27	232.76%	90.87% ▼
 Iceland	9.47	9.18	10.61	9.89	10.23	211.12%	111.37% ▲
 Czech Republic	19.02	15.92	12.53	10.35	9.55	197.20%	59.98% ▼
 Libya	18.42	7.33	9.93	8.63	9.20	189.87%	125.50% ▲
 China (see: Greenhouse gas emissions by China)	1.10	2.05	4.74	7.82	8.85	182.67%	431.08% ▲
 Singapore	3.16	10.48	9.27	9.97	8.85	182.68%	84.41% ▼
 Japan	8.09	9.36	9.99	9.46	8.61	177.84%	92.03% ▼
Poland	9.46	9.77	8.26	8.67	8.53	176.14%	87.27% ▼

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_carbon_dioxide_emissions_per_capita

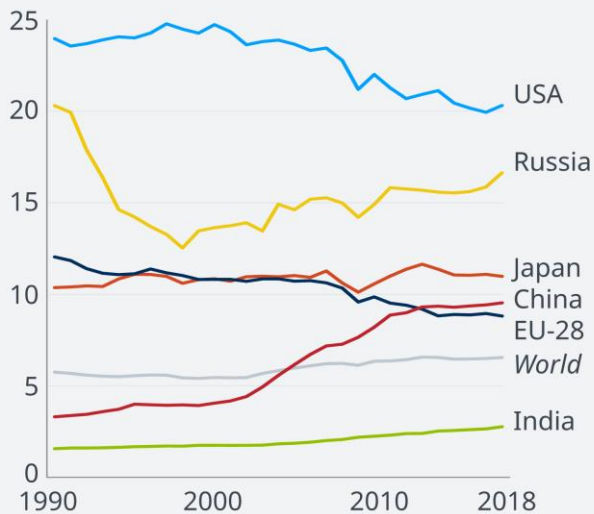
Top greenhouse gas emitters

Excluding land-use change emissions

Absolute emissions in Gigatons CO₂e



Emissions per capita in tons CO₂e



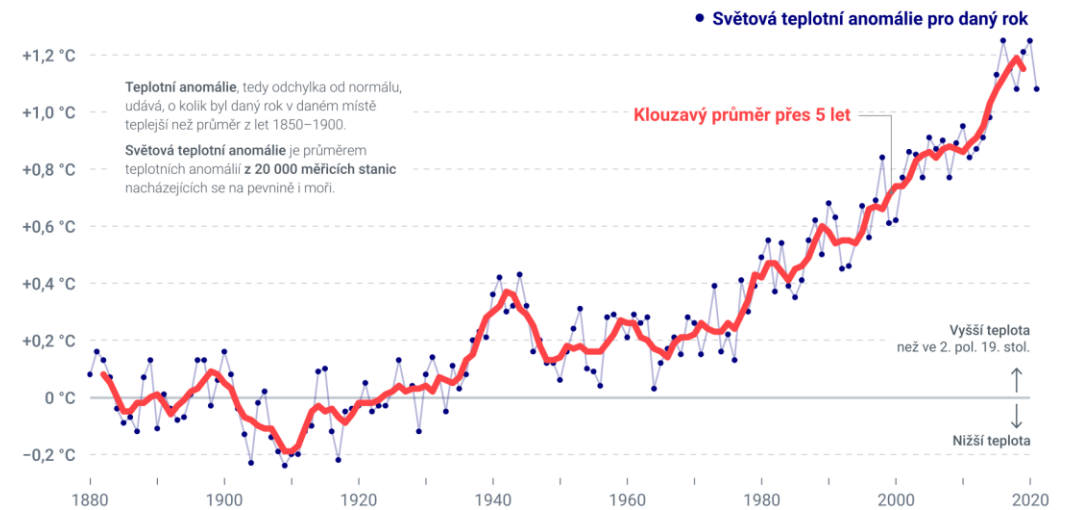
Source: UN Emissions Gap Report 2019

©DW

VÝVOJ SVĚTOVÉ TEPLOTNÍ ANOMÁLIE



Svět je nyní o **přibližně 1,2 °C** teplejší než v letech 1850–1900. V posledních 40 letech se **otepluje** tempem **0,2 °C** za desetiletí.



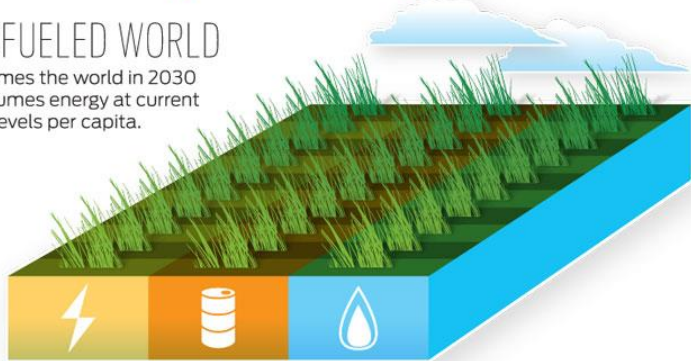
VERZE 2022-11-22 LICENCE CC BY 4.0
více info na faktaoklimatu.cz/teplotni-anomalie

zdroj dat: NASA Goddard Institute for Space Studies

⚡ = ELECTRICITY SUPPLY 🛢️ = TRANSPORTATION FUELS 💧 = HEATING FUELS

BIOFUELED WORLD

Assumes the world in 2030 consumes energy at current U.S. levels per capita.



INPUTS

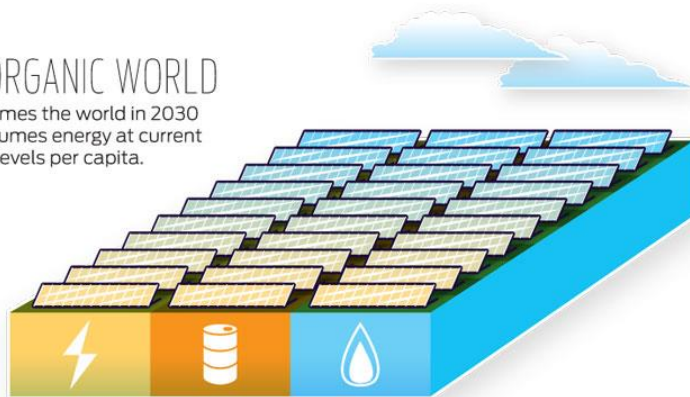
⚡	100%	🛢️	100%	💧	100%
	SWITCHGRASS		SWITCHGRASS		SWITCHGRASS

OUTPUTS

🌱	193%	🌊	173%	🏭	0.0 Billion
	LAND REQUIRED (ENTIRE EARTH)		WATER REQUIRED (ANNUAL RAINFALL)		CARBON EMISSIONS (METRIC TONS OF CARBON PER YEAR)

INORGANIC WORLD

Assumes the world in 2030 consumes energy at current U.S. levels per capita.



INPUTS

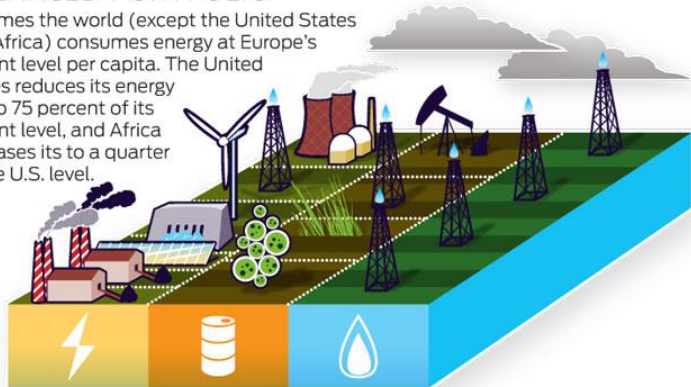
⚡	100%	🛢️	100%	💧	100%
	PHOTOVOLTAICS		PHOTOVOLTAICS		PHOTOVOLTAICS

OUTPUTS

🌱	6%	🌊	12%	🏭	0.0 Billion
	LAND REQUIRED (ENTIRE EARTH)		WATER REQUIRED (ANNUAL RAINFALL)		CARBON EMISSIONS (METRIC TONS OF CARBON PER YEAR)

BALANCED PORTFOLIO

Assumes the world (except the United States and Africa) consumes energy at Europe's current level per capita. The United States reduces its energy use to 75 percent of its current level, and Africa increases its to a quarter of the U.S. level.



INPUTS

⚡	10%	🛢️	10%	🛢️	10%	💧	10%	💧	20%	💧	20%	💧	20%
	CLEAN COAL	COAL	PHOTOVOLTAICS	HYDROPOWER	WIND	NATURAL GAS	NUCLEAR						

INPUTS

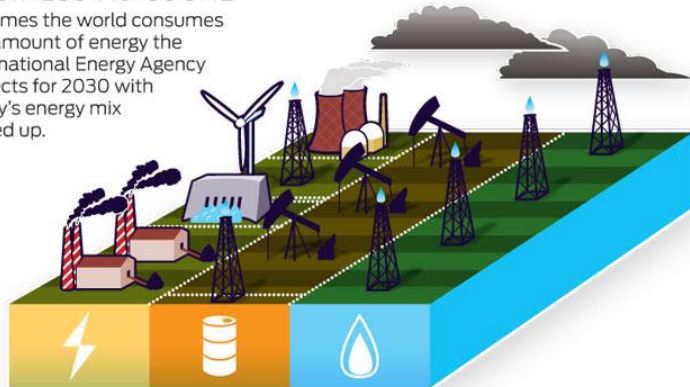
🛢️	25%	🛢️	25%	🛢️	25%	🛢️	25%	💧	STAYS AT CURRENT LEVEL (OTHER THAN THAT USED FOR ELECTRICITY GENERATION)
	ALGAE	SWITCHGRASS	NATURAL GAS	OIL					

OUTPUTS

🌱	13%	🌊	14%	🏭	9.6 Billion
	LAND REQUIRED (ENTIRE EARTH)		WATER REQUIRED (ANNUAL RAINFALL)		CARBON EMISSIONS (METRIC TONS OF CARBON PER YEAR)

BUSINESS AS USUAL

Assumes the world consumes the amount of energy the International Energy Agency projects for 2030 with today's energy mix scaled up.



INPUTS

⚡	0%	🛢️	45%	🛢️	0%	💧	15%	💧	1%	💧	24%	💧	15%
	CLEAN COAL	COAL	PHOTOVOLTAICS	HYDROPOWER	WIND	NATURAL GAS	NUCLEAR						

INPUTS

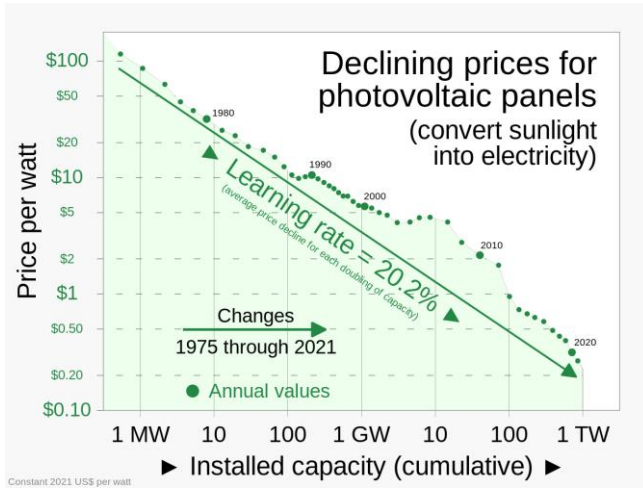
🛢️	0%	🛢️	0%	🛢️	5%	💧	95%	💧	STAYS AT CURRENT LEVEL (OTHER THAN THAT USED FOR ELECTRICITY GENERATION)
	ALGAE	SWITCHGRASS	NATURAL GAS	OIL					

OUTPUTS

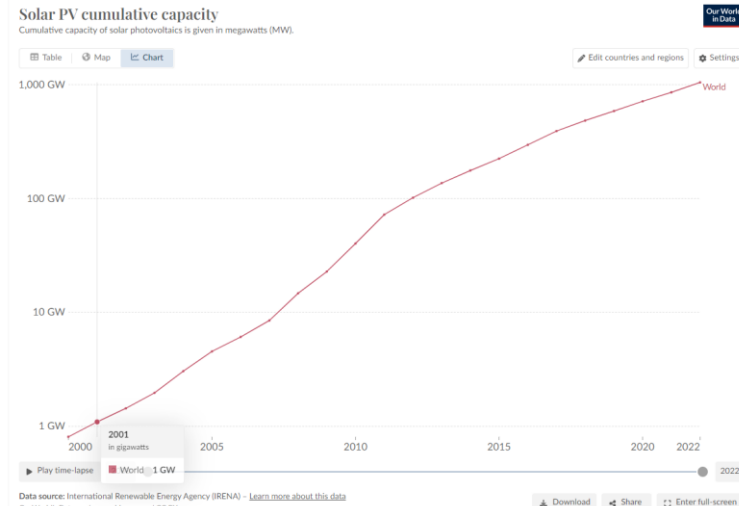
🌱	2%	🌊	5%	🏭	17.0 Billion
	LAND REQUIRED (ENTIRE EARTH)		WATER REQUIRED (ANNUAL RAINFALL)		CARBON EMISSIONS (METRIC TONS OF CARBON PER YEAR)

Solární články

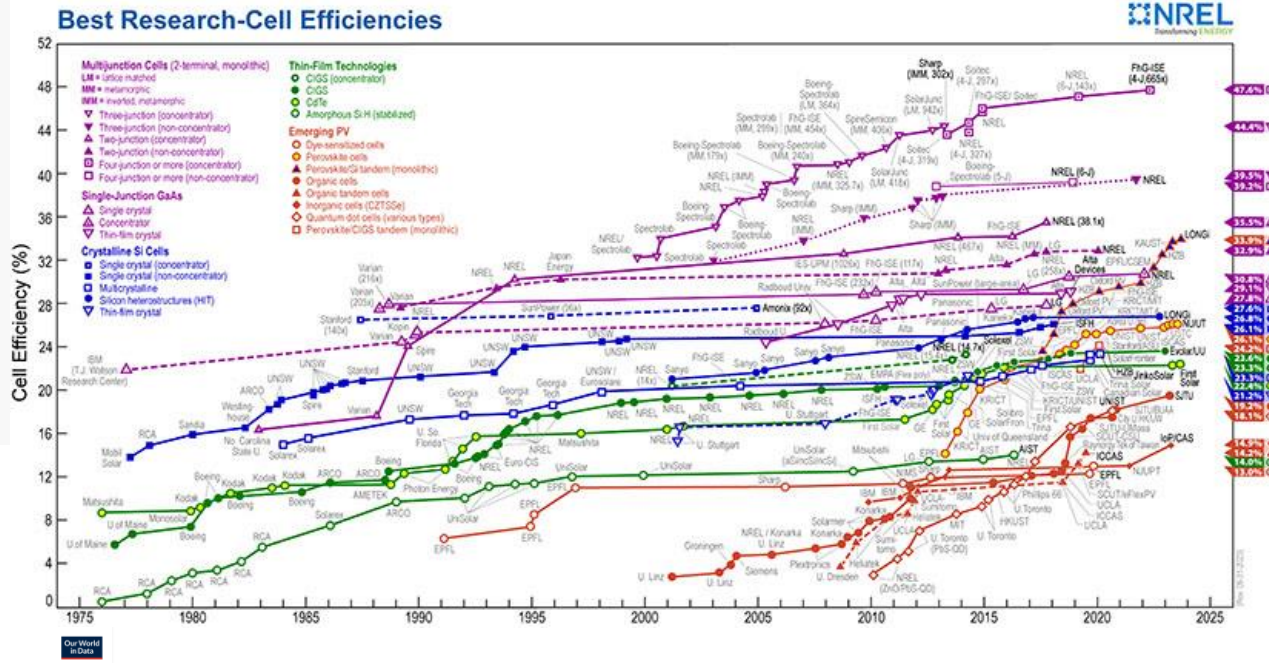
Swanson law



Kumulovaná kapacita (logaritmičsky)

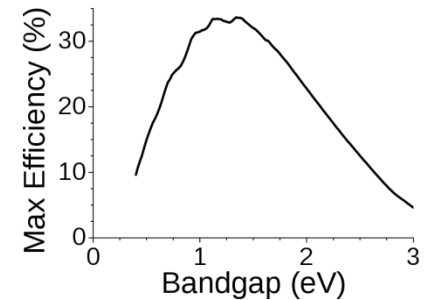


Fotosyntéza max cca 4%
Nejlepší solar PV 47,6%

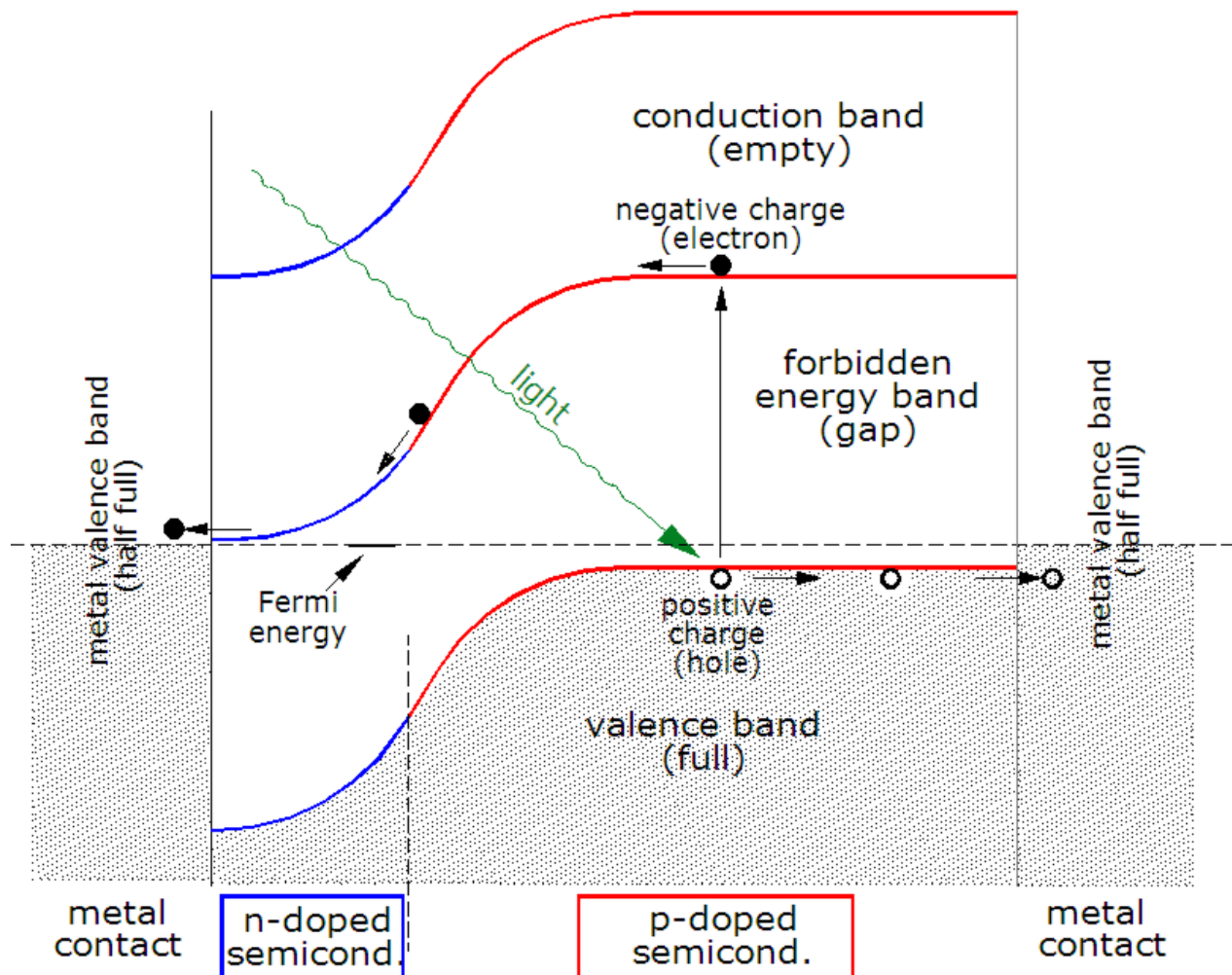
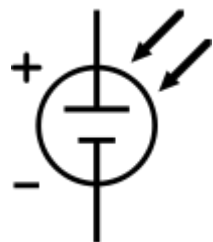


Shockley-Queisser limit

- teoretické maximum účinnosti solárního článku
- Lze překonat kombinací několika článků (multijunction cells)

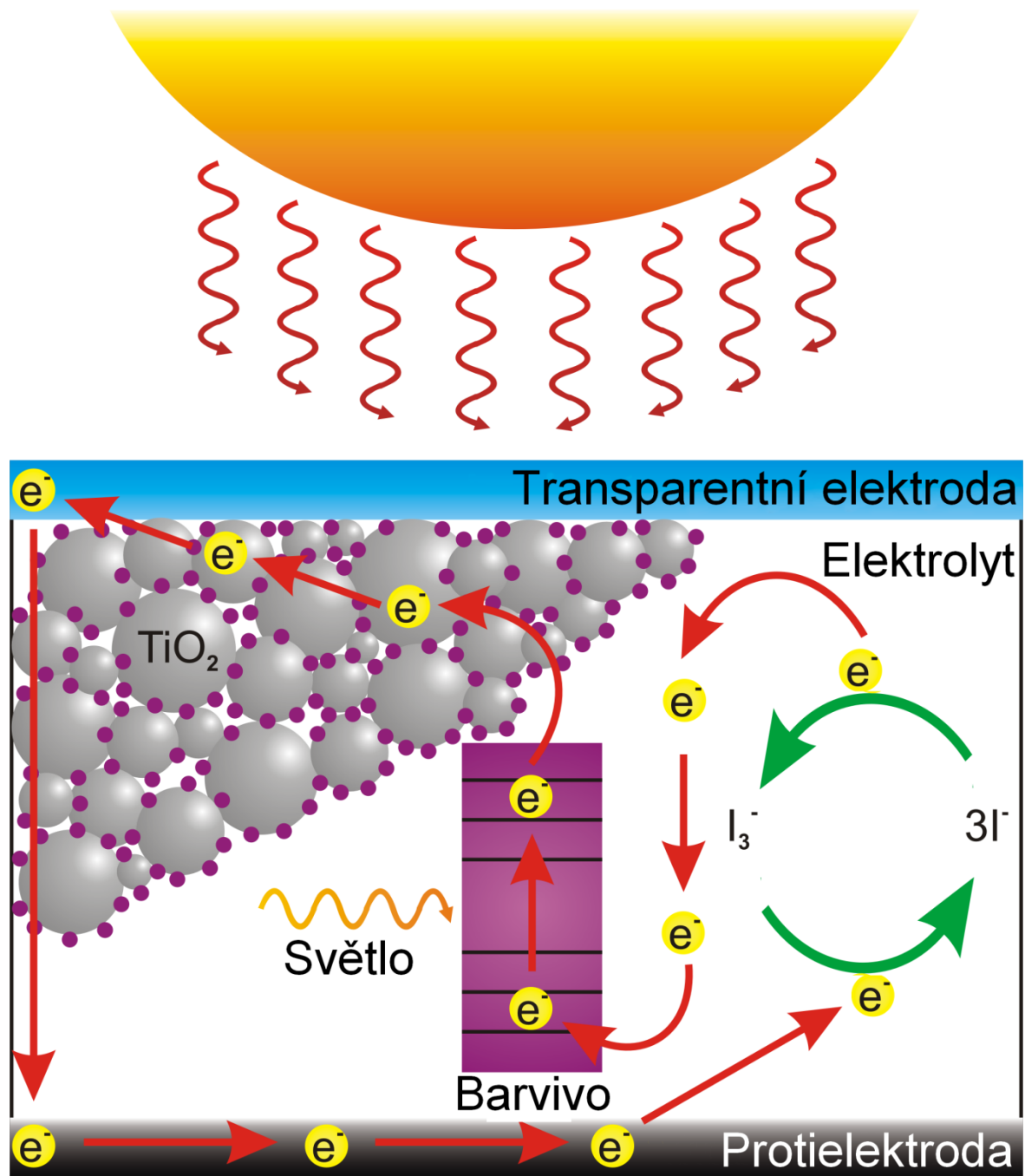


Mechanismus funkce Si článku



Graetzelův článek

- Odvedení
excitovaného
elektronu do
obvodu a náhrada
z protielektrody

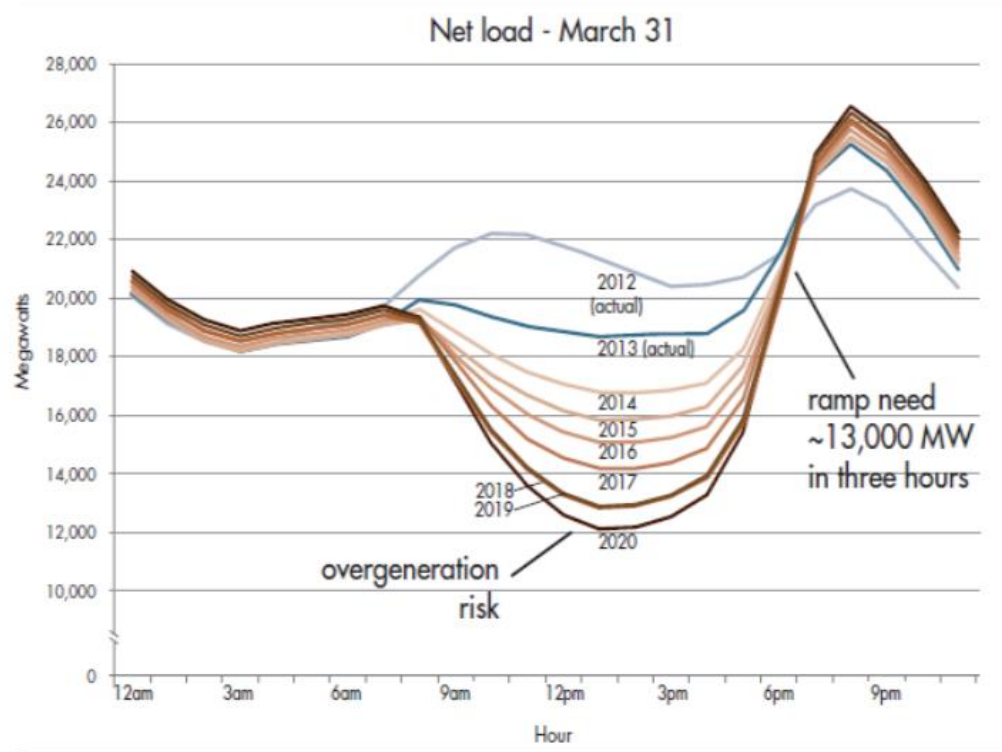


Akumulace energie

The California “Duck Curve”

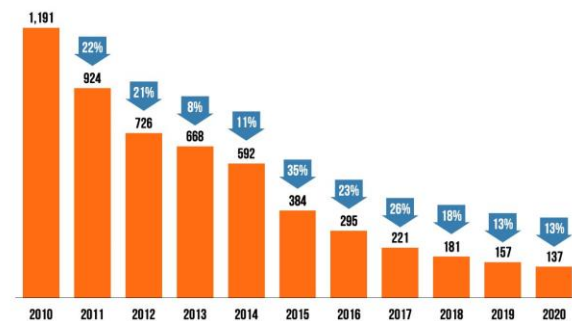
- Large-scale PV build out without storage leads to costly evening ramping needs
- Within a few years CAISO expects ramp rates to reach 13,000 MW over three hours, above current thermal peaker capacity
- High-capacity storage systems with fast ramp rates offer a low-carbon solution

Source: CAISO

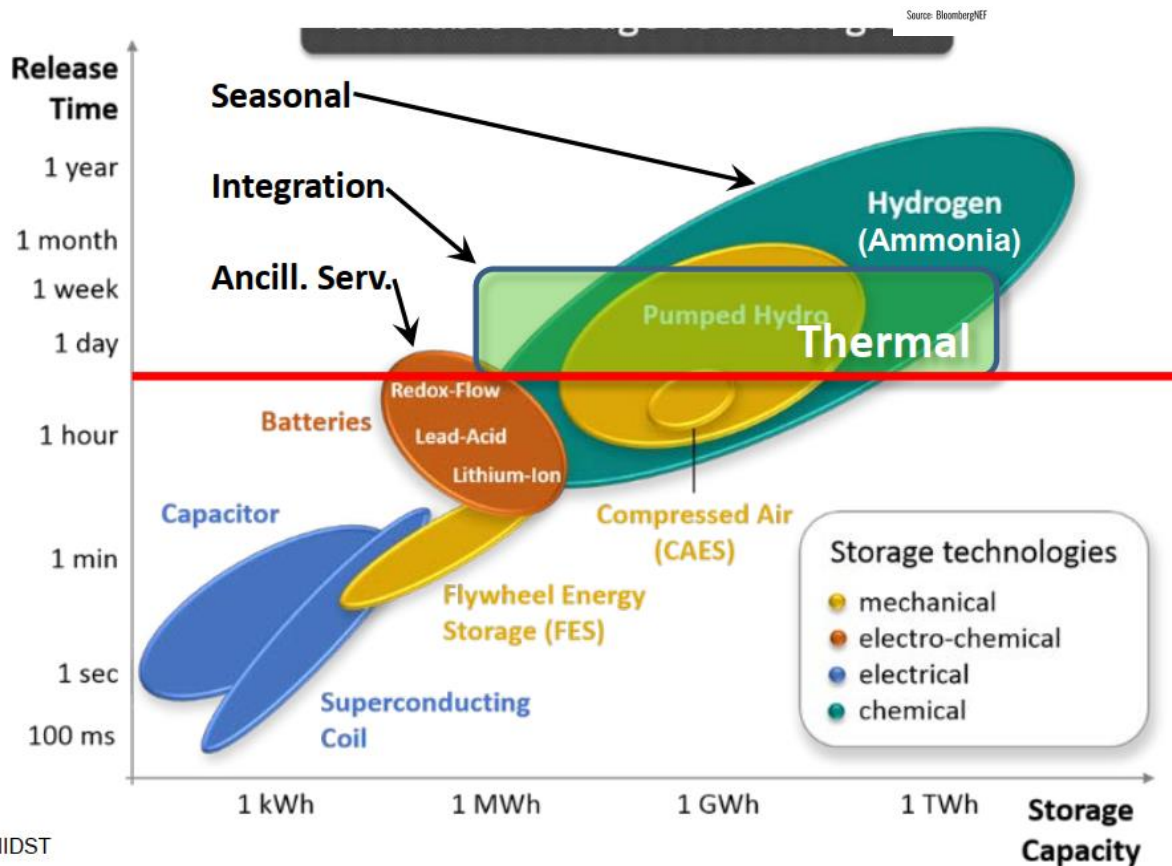


Jak lze akumulovat energii

PRICE OF A LI-ION BATTERY PACK, VOLUME-WEIGHTED AVERAGE
Real 2020 dollars per kilowatt hour



The key storage technologies



Potřebujeme co nejvíc technologií na akumulaci energie