

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

AKUMULÁTORY ENERGIE

Předmět: **KKS/KVS (tvářecí stroje)**
přednáška

Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
Katedra konstruování strojů, FST, ZČU v Plzni



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

OBSAH PŘEDNÁŠKY

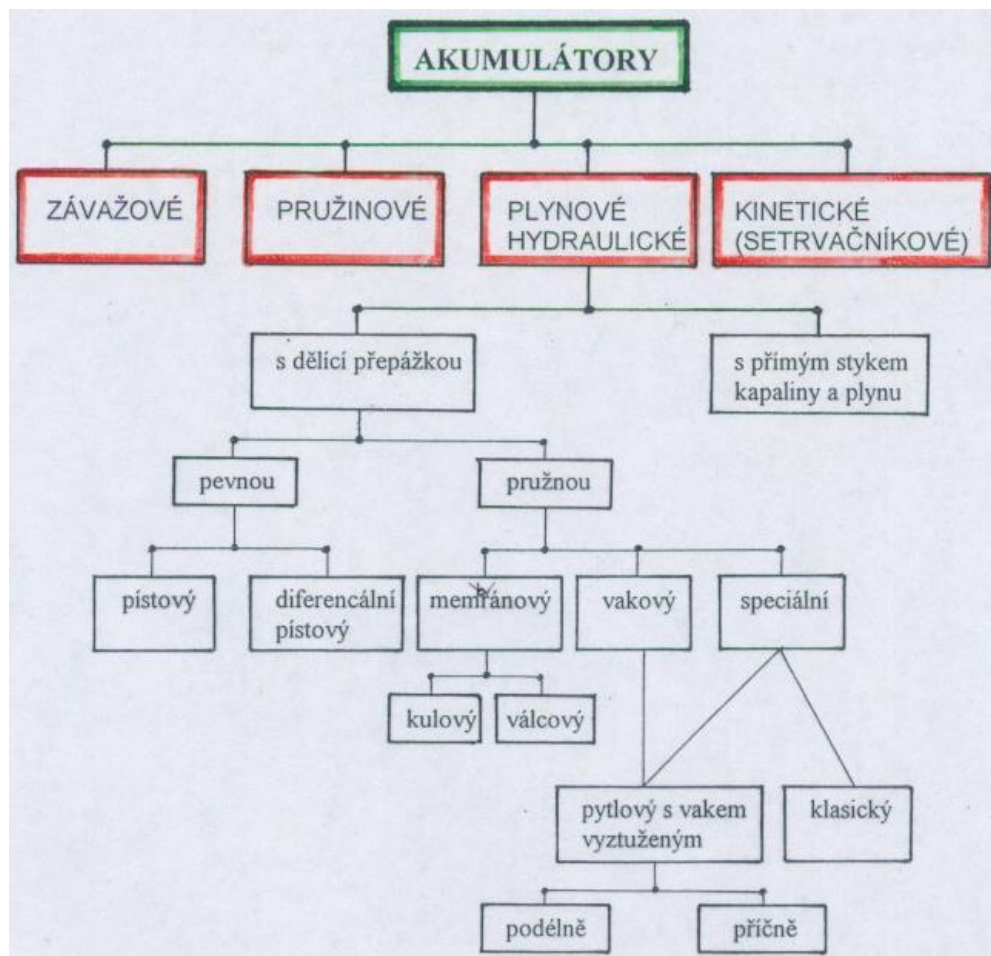
- 1) Akumulátory energie – dělení
- 2) Kinetické (setrvačnickové) akumulátory
- 3) Závažové akumulátory
- 4) Pružinové akumulátory
- 5) Plynové hydraulické akumulátory
- 6) Idealizovaný odběrový diagram tlakové kapaliny hydraulickým lisem s přímým pohonem
- 7) Idealizovaný odběrový diagram tlakové kapaliny hydraulickým lisem s nepřímým pohonem



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

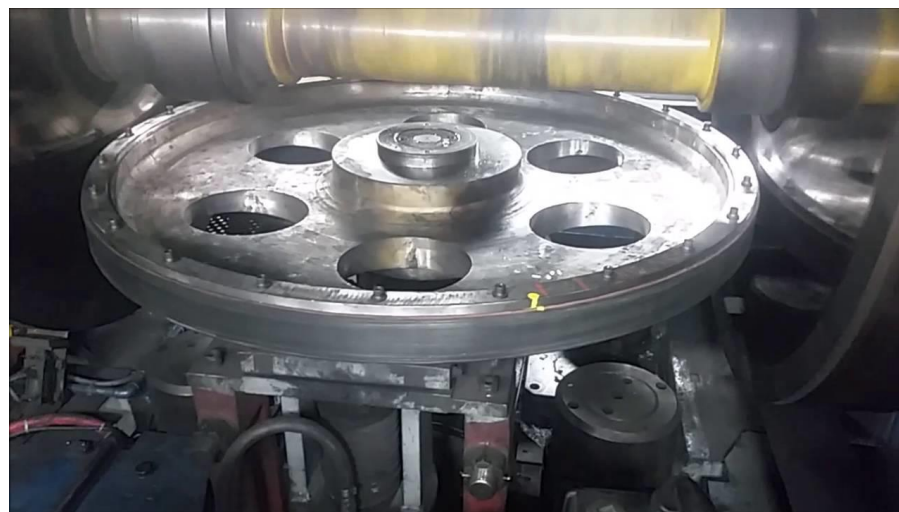
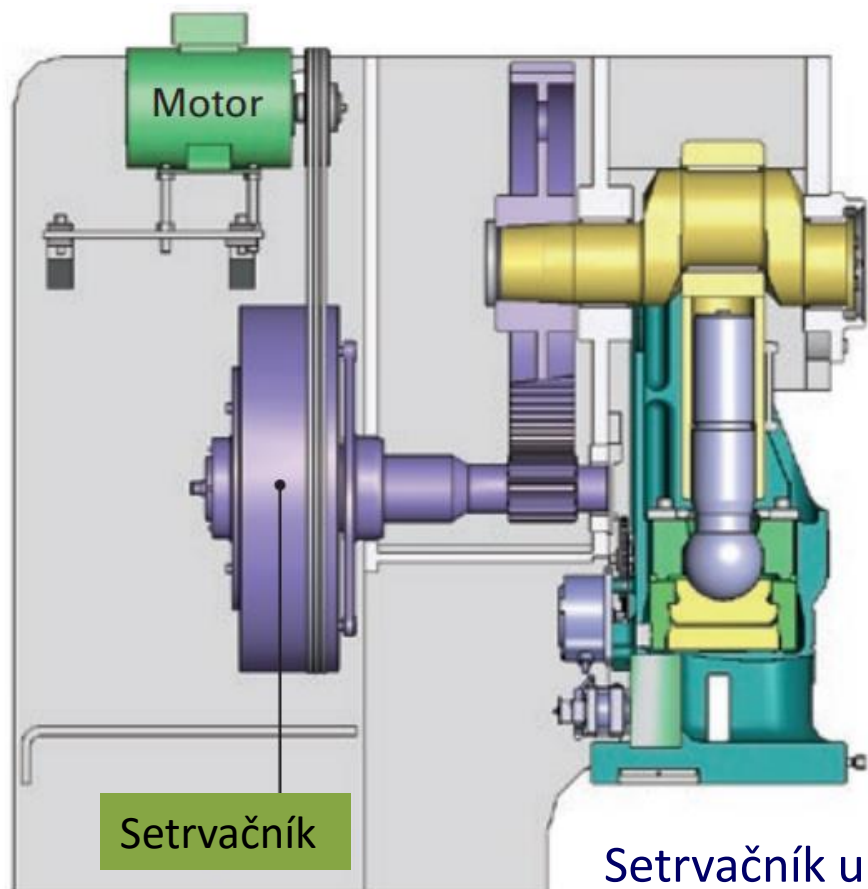
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

• ZÁKLADNÍ DĚLENÍ AKUMULÁTORŮ



- KINETICKÉ (SETRVAČNÍKOVÉ) AKUMULÁTORY**

Pohonný motor je potom dimenzován na střední výkon (musí být ale zařazen akumulátor energie)



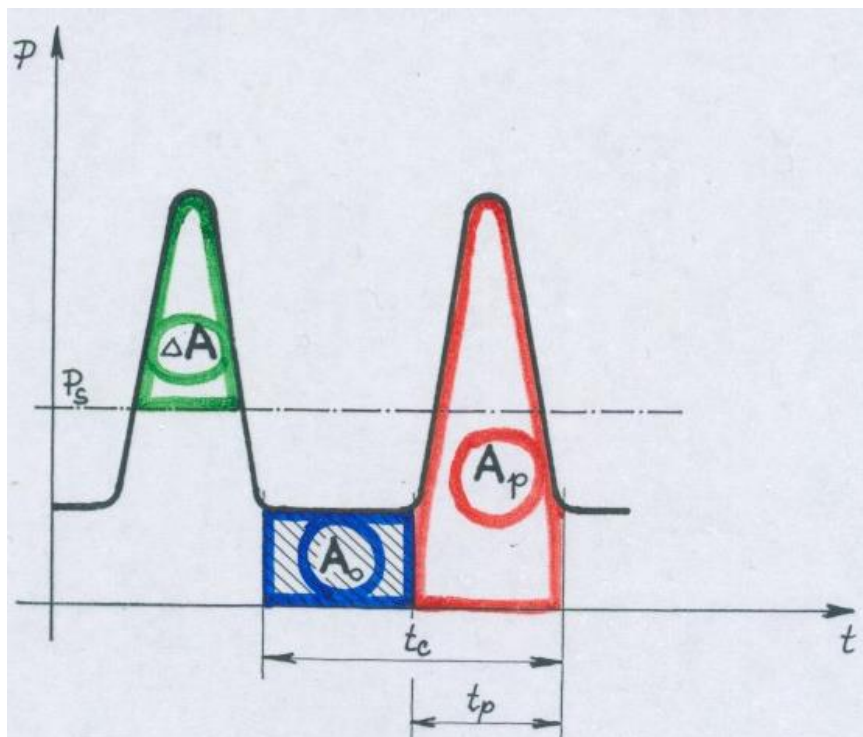
Setrvačnick u vřetenového lisu

Setrvačnick u mechanického klikového lisu



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



A_o

práce při chodu naprázdno

A_p

práce potřebná na tváření

P_s

střední výkon

$$P_s = \frac{A_o + A_p}{t_c} = \frac{\int_0^{t_c - t_p} P_t \cdot dt + \int_{t_c - t_p}^{t_c} P_t \cdot dt}{t_c}$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Energie setrvačníku při běhu naprázdno - otáčky setrvačníku n_1

$$A_1 = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_1^2$$

ENERGIE ODEBRANÁ ZE SETRVAČNÍKU - po zatížení otáčky poklesnou na n_2

$$\Delta A = \frac{1}{2} \cdot J \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega_1^2 \cdot \left(1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}\right) = A_1 \cdot \nu \cdot (2 - \nu) = A_1 \cdot z$$

- **Poměrný pokles otáček setrvačníku (skluz):**

$$\nu = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_1} = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

- **Stupeň využití energie setrvačníku (z) :**

$$z = \nu \cdot (2 - \nu)$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

KAPACITA SETRVAČNÍKU

- Největší množství energie, které lze setrvačníku během pracovního cyklu odejmout

$$\Delta A_m = A_1 \cdot z_m$$

$z_m = 1$ setrvačnick lze odpojit pomocí spojky

setrvačnick může být zcela zabrzděn (přeruší se pohon setrvačnicku před započítáním tvářecího pochodu vypnutím spojky)

$z_m \leq 0,25$ až $0,5$ setrvačnick nejde odpojit od elektromotoru

*připouští se maximální poměrný pokles otáček setrvačnicku: 0,25 – jeden cyklus
0,5 – s přestávkami*



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NEROVNOMĚRNOST CHODU SETRVAČNÍKU

$$K = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_s} = 2 \cdot \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{(\omega_1 + \omega_2)}$$

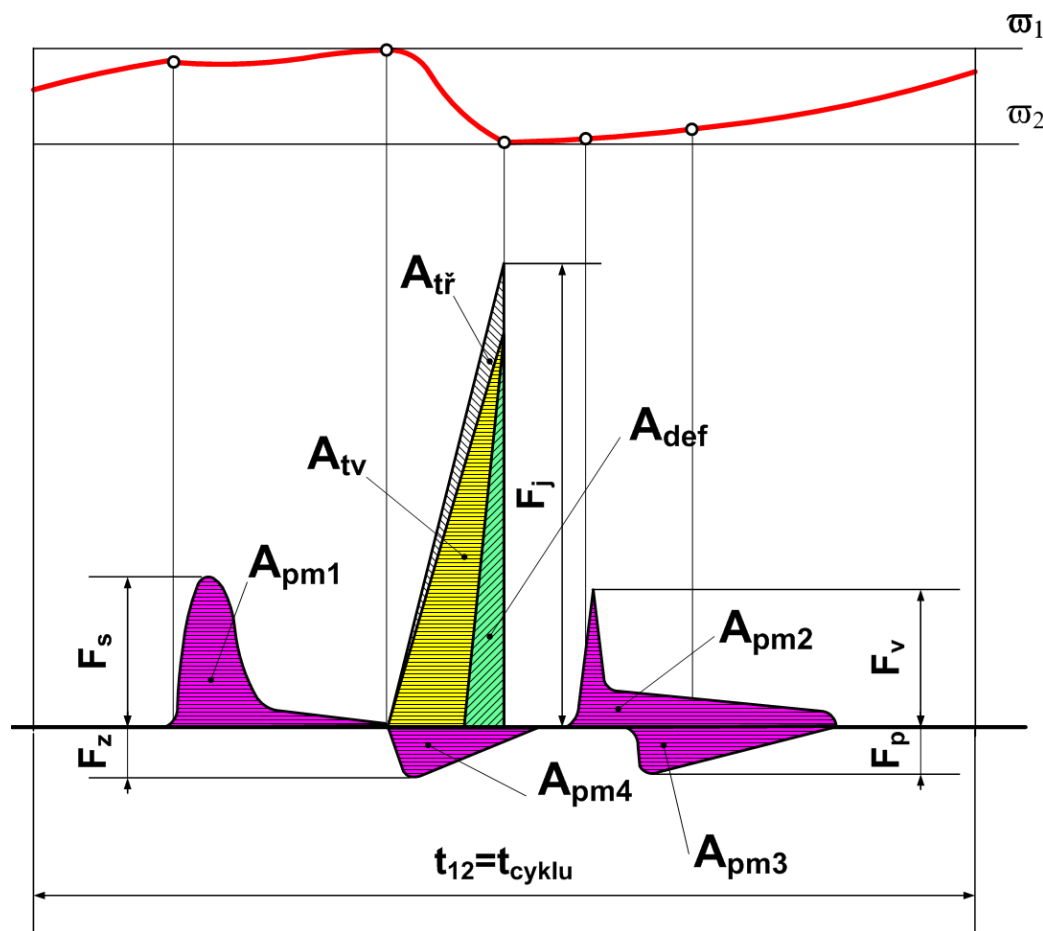
$$\omega_s = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Odběry energie ze setrvačníku u vřetenového lisu



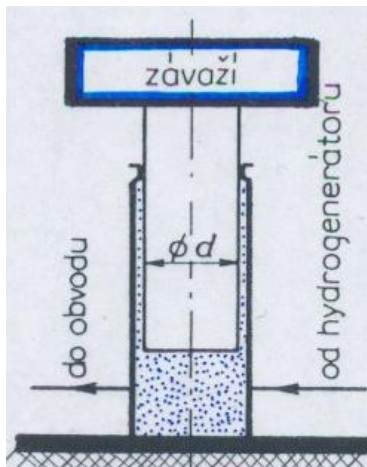
A_{pm1} = stříhání materiálu
 A_{pm2} = vyhazování
 A_{pm3} = podávání
 A_{pm4} = svírání materiálu



EVROPSKÁ UNIE
 Evropské strukturální a investiční fondy
 Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
 MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
 MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

• ZÁVAŽOVÝ AKUMULÁTOR



- patří k nejstarším typům (vynalezl Sir William Armstrong koncem 19. stol. – pohon mechanismu pro otevírání Tower Bridge v Londýně)
- vyskytuje se již jen u starých zařízení
- byl prvním typem vysokotlakého akumulátoru

$$p = \frac{m \cdot g}{S} = \text{konst.}$$

Výhody:

- odebraný tlak kapaliny je konst. (nezávisí na velikosti odebraného objemu)
- umožňuje dodat větší množství kapaliny při vysokém tlaku (1000 až 1500 l při tlaku 20 až 30 Mpa)
- možné jednoduché nastavení tlaku (přidání nebo odebrání závaží)

Nevýhody:

- velké rozměry a hmotnost (muže být instalován pouze vertikálně a jeho výška může být 5 až 10m)
- velké pohybující se hmoty - při rychlé změně vznik tlakového rázu, nutné aby rychlost poklesu pístu byla max. 0,5 m/s a hydraulický obvod byl vybaven pojistným ventilem



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

- Byl výhodný u strojů s velkou pracovní rychlostí, kde nedocházelo k náhlým prudkým změnám v odběru kapaliny

- Účinnost:
- Užitečný objem akumulátoru:
- Odebíraný tlak:

$$\eta = 0,65 \div 0,85$$

$$V_u = S \cdot h_{\max}$$

$$h_{\max} = h_2 - h_1$$

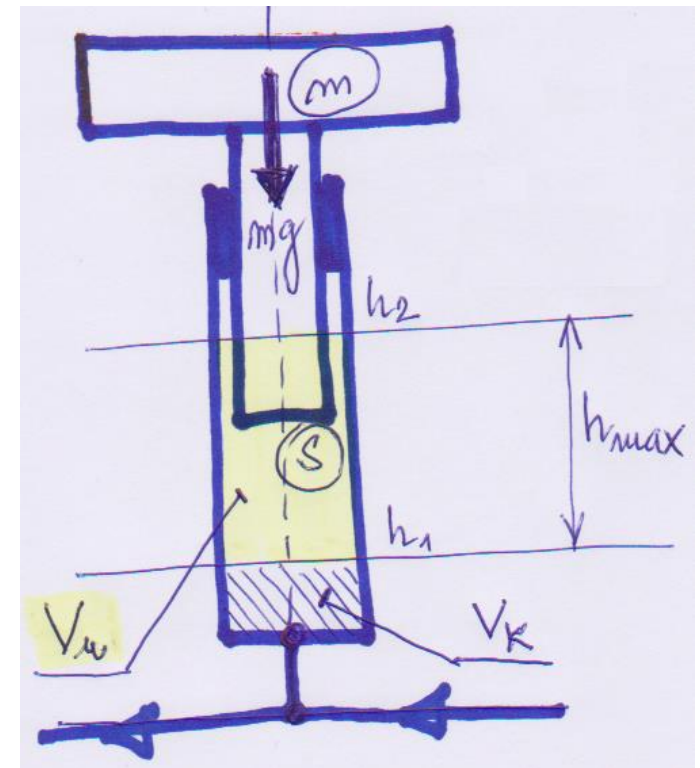
$$p = \frac{m \cdot g}{S} = \text{konst.}$$

- Velikost akumulované energie:

$$E = m \cdot g \cdot h_{\max} = p \cdot V_u$$

- Kritický objem akumulátoru: V_k

Nutný k tomu, aby se při maximálním odběru kapaliny nedostal vzduch do hydraulického obvodu

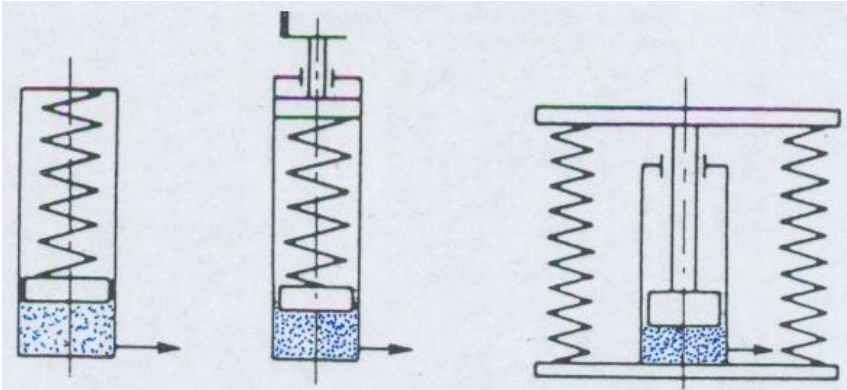


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

• PRUŽINOVÝ AKUMULÁTOR

- ✓ Používají se především jako tlumiče tlakových špiček v kapalinových systémech



Výhody:

- Výrobně jednoduchý
- Poměrně nízká cena

Nevýhody:

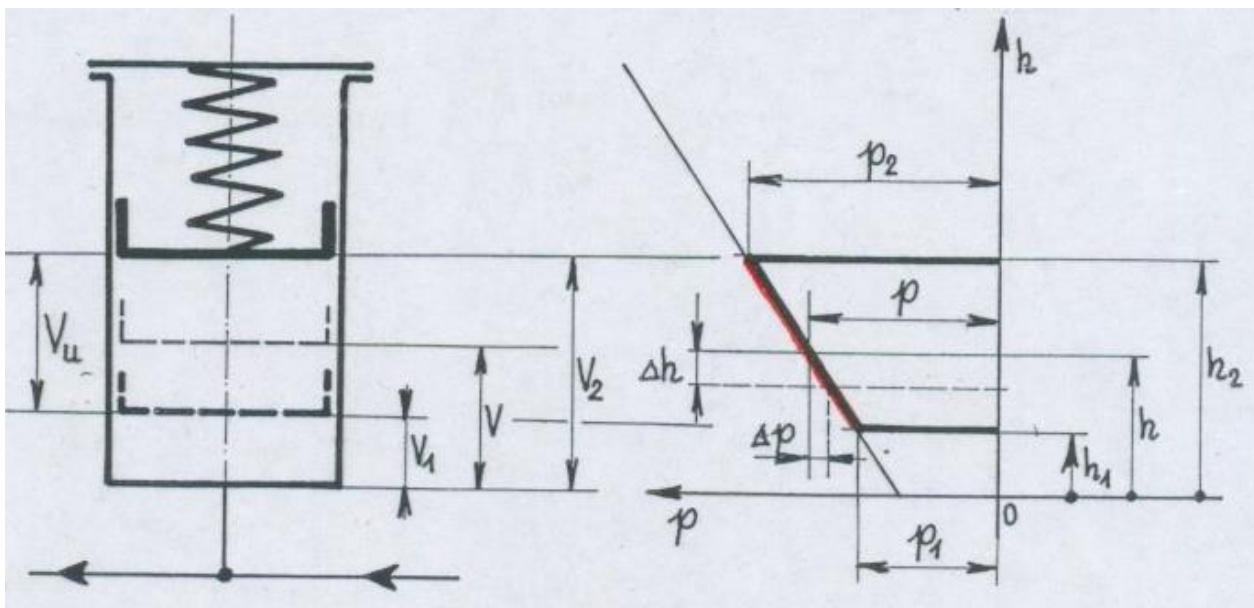
- Únava pružin (změna charakteristiky pružiny během provozu)
- Nevýhodné vyrábět tyto akumulátory s užitným objemem větším než 10 (l) a pro pracovní tlaky vyšší než 7 (MPa)
- Není možné jednoduché nastavení tlaku
- Tlak kapaliny je funkcí stlačení pružiny: **$p \neq \text{konst.}$**



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Charakteristika pružinového akumulátoru



- Užitečný objem akumulátoru:

$$V_u = S \cdot h_{\max}$$

$$h_{\max} = h_2 - h_1$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

Ze vztahu pro tuhost pružiny v tlaku platí:

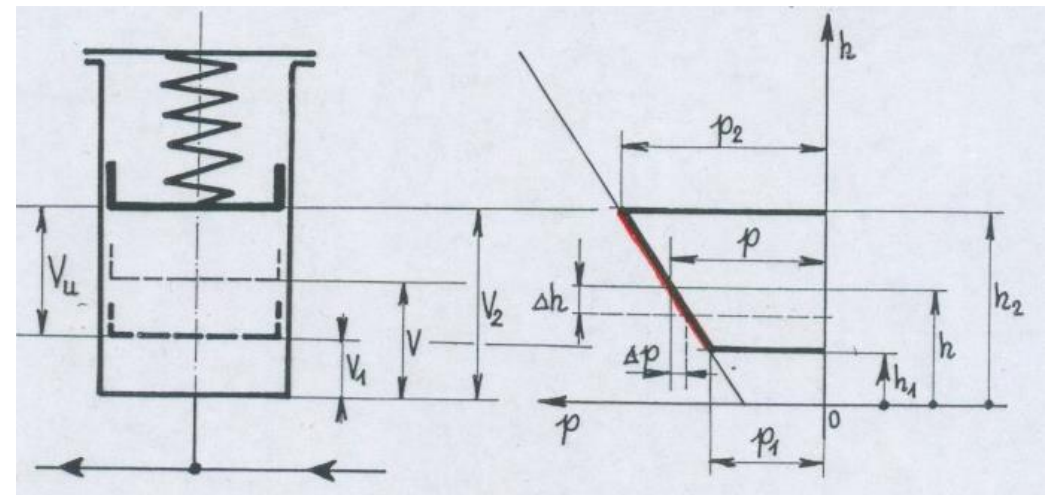
$$k_{\text{pružiny}} = \frac{F}{h_{\text{max}}} \Rightarrow h_{\text{max}} = \frac{F}{k_{\text{pružiny}}} = \frac{S \cdot (p_2 - p_1)}{k_{\text{pružiny}}}$$

- Maximální zdvih pístu:

$$h_{\text{max}} = \frac{(p_2 - p_1) \cdot S}{k}$$

- Užitečný objem akumulátoru:

$$V_u = h_{\text{max}} \cdot S = \frac{S^2 \cdot (p_2 - p_1)}{k_{\text{pružiny}}}$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

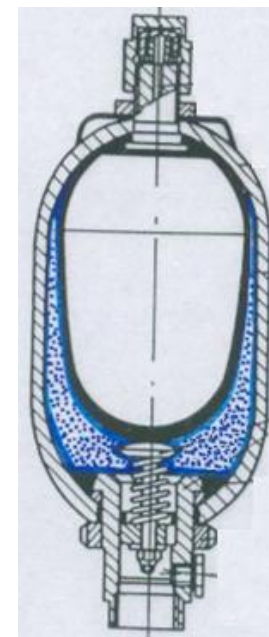
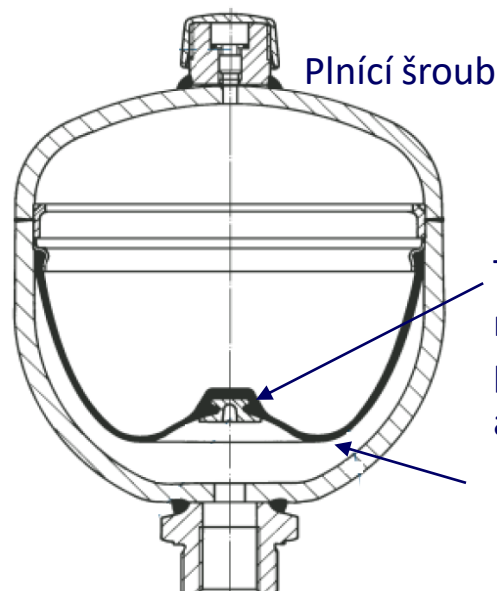
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

• PLYNOVÝ HYDRAULICKÝ AKUMULÁTOR

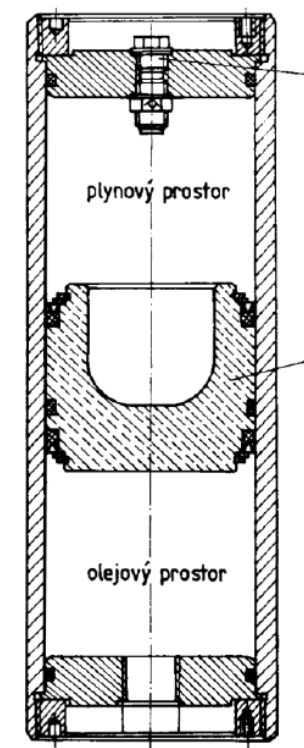
▪ S dělicí přepážkou

Nejčastěji používané. Přepážka odděluje plyn od pracovní kapaliny.

- ✓ S pevnou přepážkou – pístové
- ✓ S pružnou přepážkou – membránové, vakové



Vakový
akumulátor



1. Píst oddělující plyn od kapaliny
2. Plnicí ventil

▪ S přímým stykem kapaliny a plynu

Je-li pracovní kapalinou olej, nesmí se používat vzduch, ale některý inertní plyn – většinou dusík



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Sada vakových hydraulických akumulátorů



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plynové hydraulické akumulátory:

- Pracují na pneumaticko-hydraulickém principu.
- Má poměrně dlouhou životnost, je spolehlivý a neškodí mu náhlý odběr energie.
- Použití akumulátoru umožní volit zdroj tlaku (hydrogenerátor a jeho poháněcí elektromotor) s nižšími parametry a nižším výkonem - energetické úspory.
- Velikost akumulátoru stanovíme z odběrového diagramu hydraulického obvodu.

▪ Hlavní funkcí je akumulace tlakové energie

Další funkce:

- Dodávky velkých objemů kapalin o vysokém tlaku
- kryje objemové ztráty - kompenzuje úniky
- kompenzátor tepelné roztažnosti
- vyrovnání nerovnoměrnosti v odběru kapaliny
- nouzový zdroj energie
- pohlcování přebytečné energie
- zajištění vratného pohybu (jako pružina)
- dávkovač kapaliny
- tlumič rázů a pulsací

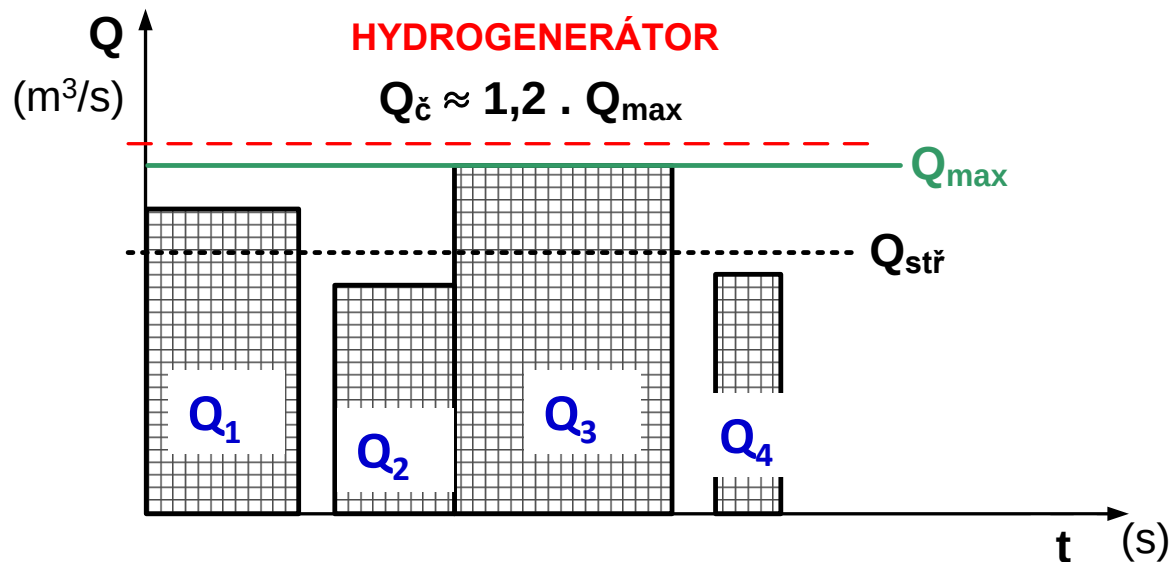


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

- **IDEALIZOVANÝ ODBĚROVÝ DIAGRAM TLAKOVÉ KAPALINY HYDRAULICKÝM LISEM S PŘÍMÝM POHONEM**

Prezentuje potřebné dodávky tlakové kapaliny hydrogenerátoru v průběhu pracovního cyklu lisu. Odběrový diagram slouží k návrhu velikosti hydrogenerátoru, případně hydrogenerátorů. Hydrogenerátor je navrhován na maximální průtok kapaliny do pracovního válce (tj. na maximální rychlost výstupního členu lisu) $\Longrightarrow$ NUTNÁ VYŠŠÍ KAPACITA ČERPADEL než u akumulátorového pohonu.



Čtyři různé odběry tlakové kapaliny v různých časech

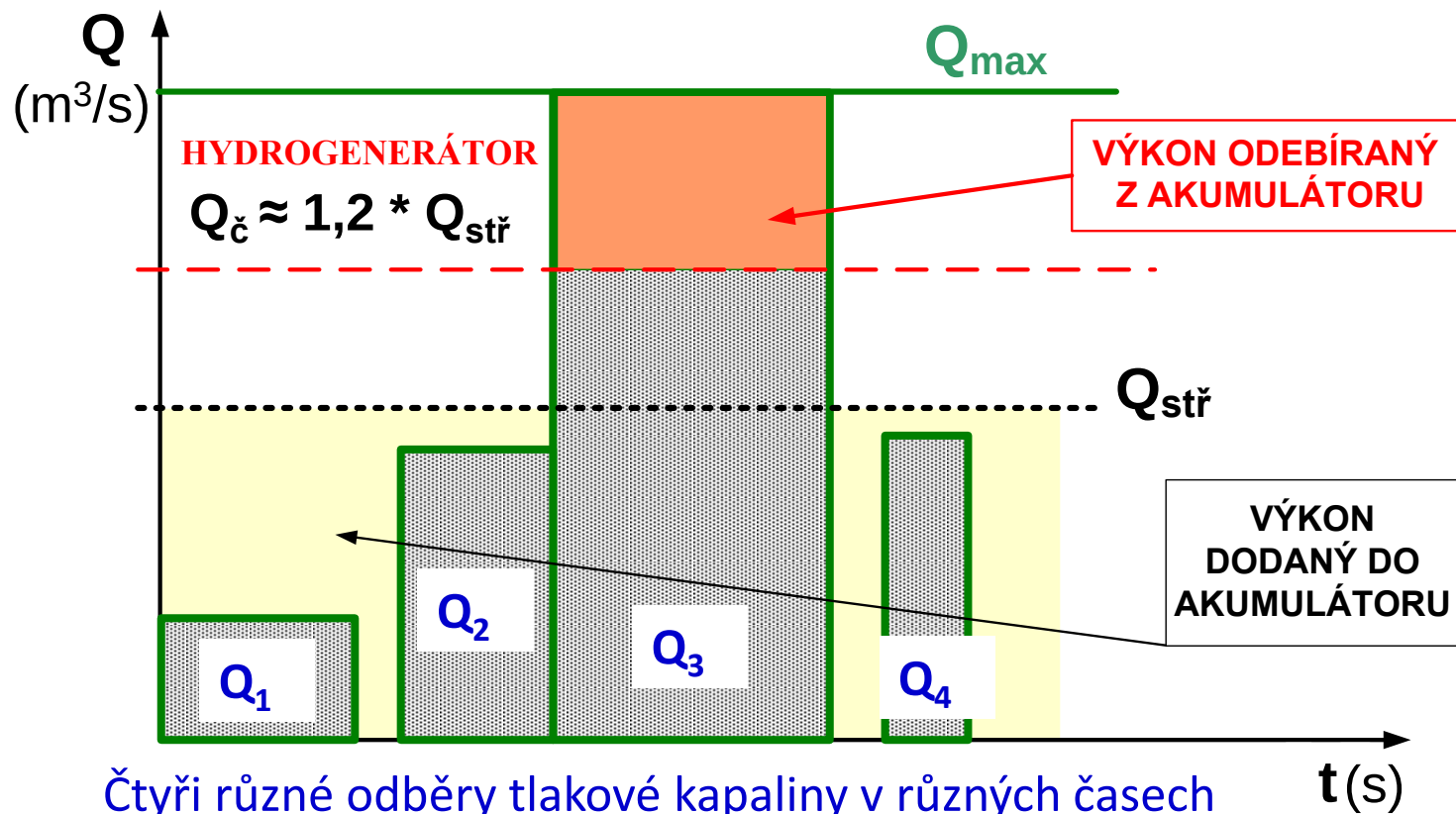
Např. vytlačovací lisy CXT



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

- IDEALIZOVANÝ ODBĚROVÝ DIAGRAM TLAKOVÉ KAPALINY HYDRAULICKÝM LISEM S NEPŘÍMÝM POHONEM



Čtyři různé odběry tlakové kapaliny v různých časech

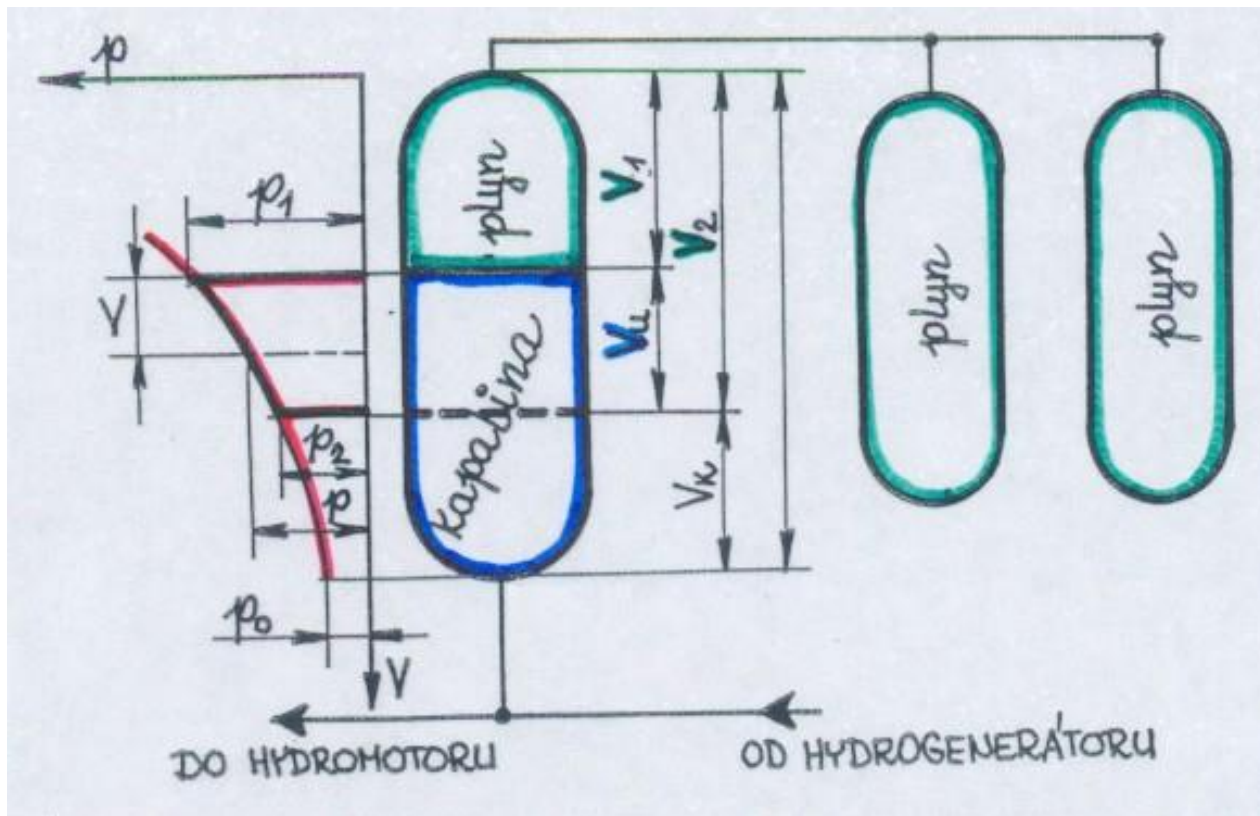
Např. kovací lisy CKV, CKW



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

ŠK
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

■ Základní rovnice pro výpočet velikosti nádoby akumulátoru



V_u = užitečný objem akumulátoru

V_k = kritický objem akumulátoru



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Předpoklad výpočtu: kapalina je nestlačitelná stlačuje a rozpíná se plyn

Vycházíme ze STAVOVÉ ROVNICE PLYNU: $p \cdot V^n = konst$

a) Izotermická změna stavu plynu **n = 1**

Pomalé děje se blíží izotermické změně – obyčejně plnění akumulátoru

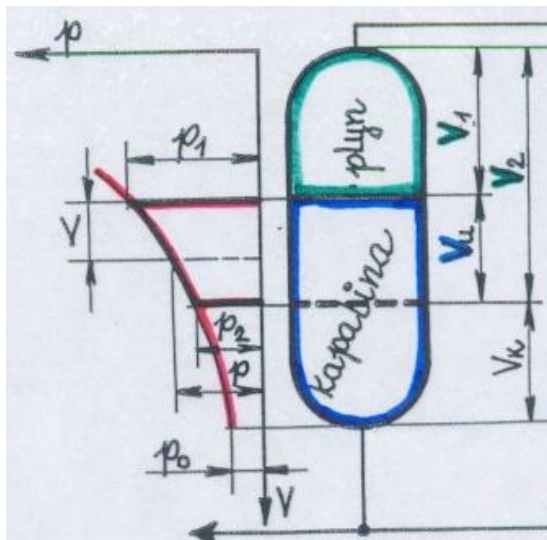
b) Adiabatická (polytropická) změna stavu plynu **n = 1,4**

Rychlé děje – obyčejně odběr kapaliny – dbát na to aby nebyly překročeny hodnoty $n = 1,2$ až $1,35$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Ze stavové rovnice plynu platí:

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n \Rightarrow V_2^n = \frac{p_1}{p_2} \cdot V_1^n$$

■ Užitečný objem akumulátoru:

$$V_u = V_2 - V_1 \Rightarrow V_u = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_1 - V_1$$

$$V_u = V_1 \cdot \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

- **Poměrný pokles tlaku v akumulátoru většinou 10%**

$$\nu_p \approx 0,1$$

$$1 - 0,1 = \frac{p_2}{p_1} = 0,9$$

$$\nu_p = \frac{p_1 - p_2}{p_1} = \frac{\Delta p}{p_1} < 1$$

$$\nu_p = 1 - \frac{p_2}{p_1} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = 1 - \nu_p \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{1}{1 - \nu_p}$$

- **Užitečný objem akumulátoru** (vyjádřený pomocí poměrného poklesu tlaku v akumulátoru)

$$V_u = V_1 \cdot \left[\left(\frac{1}{1 - \nu_p} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

