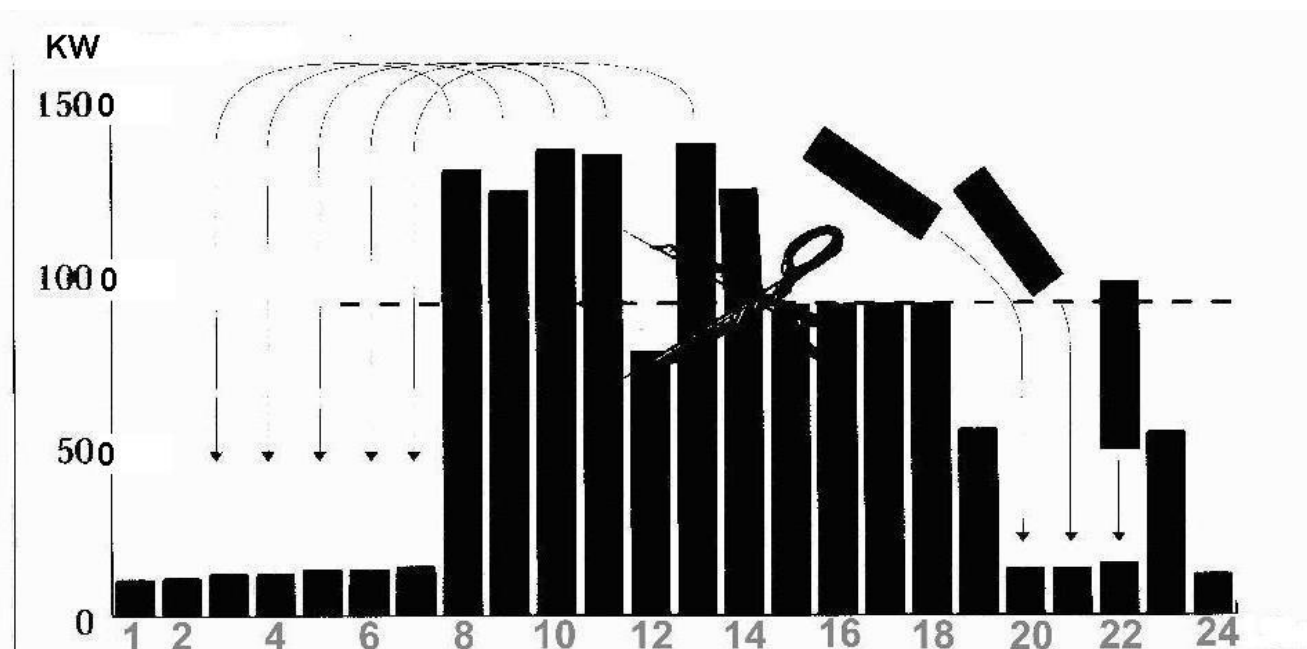


Regulace spotřeby elektrické energie

Učební text VOŠ a SPŠ Kutná Hora

Proč regulovat spotřebu

- | časová závislost energie odebírané z energetické soustavy
- | denní diagram spotřeby vykazuje výrazné špičky
- | instalovaný výkon energetické soustavy musí pokrýt špičkový odběr
- | zdroje pokrývající špičky nejsou po většinu dne využívány
- | **přesun odběru do pásma mimo špičku!!**



Okamžitý výkon z elektráren

- | okamžitý výkon = okamžitý odběr
- | velký instalovaný výkon
- | regulace výkonu dodávaného do energetické soustavy
 - | spojitě veškeré zdroje – není reálné, větší část zdrojů nelze regulovat
 - | základní výkon konstantní regulace zdrojů ve špičkách
- | základní odběr pokrývají elektrárny pásmové (stále stejný výkon)
 - | elektrárny tepelné
 - | elektrárny jaderné
 - nelze je okamžitě uvést do chodu
 - nelze je okamžitě zastavit
 - výkon nelze výrazně měnit
- | pološpičkový odběr pokrývají regulovatelné elektrárny vodní
 - | průtočné (méně vhodné pro regulaci)
 - | přehradové
- | špičkový odběr pokrývají vodní elektrárny
 - | přehradové
 - | přečerpávací

Špičkové elektrárny

- | přehradové elektrárny
 - | rychlé najetí výkonu
 - | regulace ve velkém rozsahu
 - | akumulace velkého množství vody regulace dolního toku (povodně)
 - | malé procentový poměr k elektrárnám tepelným
- | přečerpávací elektrárny
 - | stavějí se v místech s velkým převýšením
 - Dlouhé Stráně (Jeseníky) – instalovaný výkon 650 MW
 - | reverzibilní turbíny (turbínový a čerpadlový režim)
 - | čerpání probíhá v době minimálního odběru
 - | výkon do sítě se dodává ve špičkách
- | rovnoměrný odběr během celých 24 hodin
 - | potřebný instalovaný výkon by byl pouze třetinový
 - | fikce neodpovídající fyziologickým potřebám člověka

Čtvrthodinová maxima

- | průmyslové podniky mají nasmlouvané „technické maximum“
 - | odběratelé třídy A, B
 - | čtvrthodinové (technické) maximum – smlouva s dodavatelem
 - maximální průměrný příkon odebraný v každé čtvrthodině
 - | smlouva se uzavírá obvykle na kalendářní rok
 - | překročení technického maxima je dodavatelem tvrdě penalizováno
 - | nasmlouvání velké rezervy je finančně nevýhodné
- | platba odebírané energie
 - | cena dodané elektrické energie má dvě položky
 - cena za odebranou energii v Kč/kWh (proměnná)
 - cena za nasmlouvané technické maximum Kč/kW
- | příklad
 - | podnik odebere za sledovaný měsíc 20 000 kWh, nasmlouvané maximum je 140kW
 - | cena za odebranou energii OE = $20\,000 \times 2,50 = 50\,000,-$
 - | cena za technické maximum TM = $140 \times 150,- = 21\,000,-$
 - | cena celkem CC = OE + TM = 71 000,- ; cena 1kWh = 3,55 Kč

Penalizace za překročení maxima

- | kontrola čtvrt hodinového maxima
 - | realizace prostředky IT integrovanými do elektroměru
 - | měří se celé účtované období, 24 hodin denně
 - | do paměti je zaznamenávána největší naměřená hodnota za celý měsíc
- | penalizace za překročení
 - | dodavatel si za každý překročený kW účtuje výrazně vyšší částku
 - | obvyklá penalizace pětinásobkem původní hodnoty (5 x 150 = 750,-)

Penalizace za neodebranou energii

- | rezerva výkonu
 - | odběratel si nasmlouvá technické maximum s dostatečnou rezervou
 - k překročení technického maxima nikdy nedojde
 - neplatí penále
 - | smlouva se uzavírá na celý rok
 - | navýšený limit platí odběratel každý měsíc!!
 - | navýšení limitu se využije většinou jen několik měsíců v roce (prosinec, leden, únor)
 - | odběratel je nepřímo penalizován za nevyužití technického maxima!!
 - | při nevhodně nastavených podmínkách může být platba vyšší, než pokud připustíme penalizaci za překročení
- | před uzavřením smlouvy je nutná analýza energetických odběrových diagramů podniku

Regulace odběru

- | cílem je zajistit rovnoměrný odběr bez velkých výkyvů
- | metody „zrovnoměrnění“ odběru
 - | organizací práce
 - zapínání strojů v takovém sledu, aby odběr byl rovnoměrný
 - používání některých strojů mimo ranní hodiny
 - používání strojů s vyšší spotřebou po pracovní směně
 - | technickými prostředky
 - regulátory $\frac{1}{4}$ hodinových maxim
 - hlídání spotřeby a omezování výkonu vybraných spotřebičů
 - | aktivní regulace spotřeby
 - spouštění energetických zdrojů
 - záskokových generátorů
 - malých vodních elektráren,

Měření činné práce a výkonu

- | měření činné práce
 - | počítáním impulsů měřicích elektroměrů
 - | činná práce se spočítá vynásobením počtu impulsů konstantami elektroměru a měřicích převodníků (napěťové a proudové transformátory)
- | měření výkonu
 - | průměrný výkon za sledovaný časový úsek = práce / časový interval
 - | výkon se vyhodnocuje obvykle v úseku 10 – 40 sekund
- | přímé měření spotřeby a výkonu
 - | měření napětí a proudů jednotlivých fází
 - | převod na digitální signál
 - | výpočet spotřeby a výkonu v CPU

Měření čtvrt hodinového intervalu

- | čtvrt hodinový interval v regulátoru musí být stejně dlouhý jako na straně dodavatele
- | počátky intervalu musí být synchronizovány
- | regulátor pracuje obvykle s vlastním generátorem času
- | regulátory přijímají čtvrt hodinový synchronizační impuls
- | impulsy se vysílají po rozvodné síti (HDO)
- | synchronizace signálem jednotného evropského času (DCF-77) se nepoužívá

Typy řízených spotřebičů

- | mohou být řízeny:
 - | setrvačné spotřebiče s dlouhou časovou konstantou
 - | na jejich funkci nemá krátkodobé odpojení významný vliv
 - | nemohou být krátkodobým odpojením poškozeny
 - | elektrická topidla, kotle, bojler, topné kabely, elektrické pece, sušárny, sterilizátory, vyvíječe páry, vzduchotechnika a klimatizace, chladírny a mrazírny, čerpadla, ventilátory a kompresory, dopravníky
- | nemohou být řízeny:
 - | pracovní stroje (soustruhy, frézky, pily, lisy, brusky)
 - | dopravní a manipulační mechanismy (jeřáby, výtahy a jiné)
 - | těžké motory
 - | každý rozběh je spojen se značnou energetickou ztrátou
 - | mohou se podílet na regulaci spotřeby, ovšem s daleko složitějšími algoritmy
- | poměr řízených/neřízeným spotřebičům co největší
 - | poměr by měl být vždy větší než 1/3

Způsoby řízení spotřeby

- | dvoupolohově (vypnout - zapnout)
 - | nejčastější způsob řízení
- | vícestupňové řízení
 - | spotřebiče, složené z několika sekcí jejich výkon lze stupňovitě redukovat, aniž by bylo nutné je vypínat
 - | elektrické pece, soustavy topidel a podlahového vytápění, osvětlovací systémy, chladicí zařízení ...
- | spojitě řízení
 - | snížení otáček motorů pomocí frekvenčních měničů
- | odlehčení
 - | spotřebu strojů nebo linek lze regulovat nepřímo omezením toku vstupní suroviny
 - | například u mlýnů nebo drtičů zpomalením nebo vypnutím pasového dopravníku

Analýza řízeného procesu

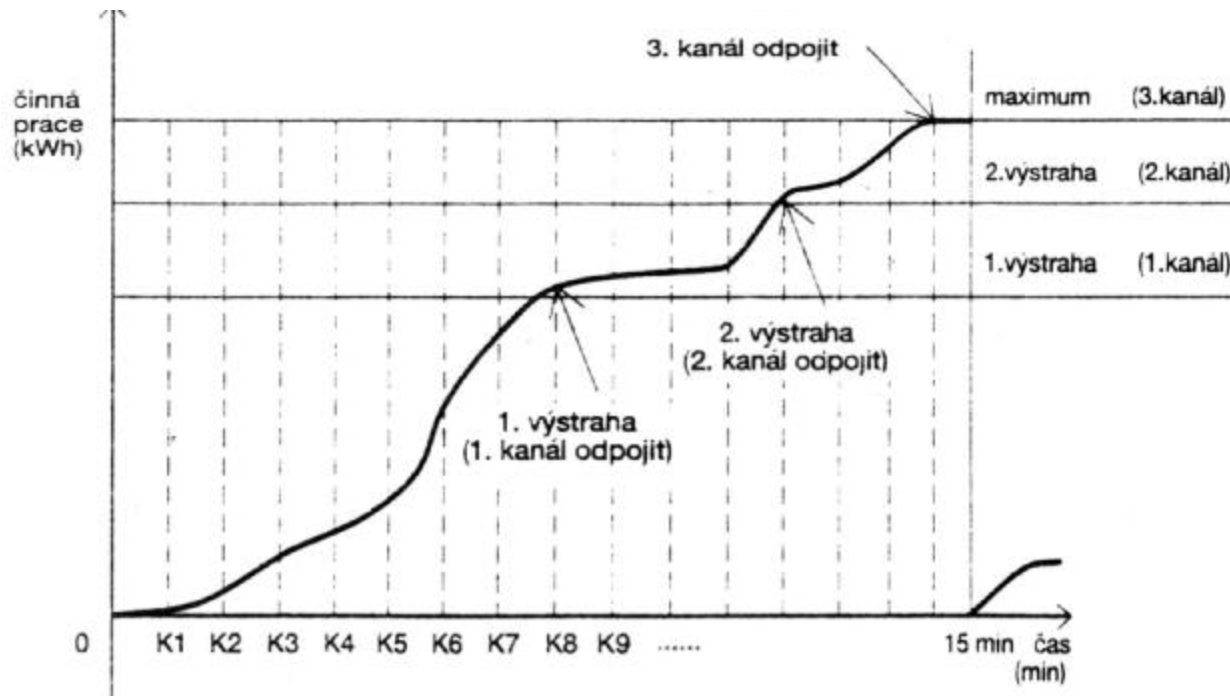
- | o úspěšnosti regulace spotřeby rozhoduje
 - | znalost energetických diagramů podniku
 - | znalost řízeného procesu
 - | předvídavost spotřeby na základě teplotního a časového režimu
 - | čím více informací ze soustavy, tím kvalitnější předvídavost
 - | statistické údaje o spotřebě
- | účast člověka
 - | člověk zařazen v ovládacím řetězci jako „vykonavatel“ příkazů (doporučení) regulátoru spotřeby
 - | adresné požadavky na vypnutí konkrétního zařízení
 - | nespecifikované požadavky (něco vypni!)
 - | výsledek je nejistý, je silně závislý na kvalitě obsluhy
 - | kombinace přímých zásahů regulátoru a zásahů člověka na základě alarmových hlášení

Algoritmy regulace spotřeby

- | časová nespojitost, krok regulace
 - | proces regulace probíhá v oddělených časových okamžicích
 - | před každým rozhodováním je čas na měření a na rozpoznání účinku předchozího zásahu
 - | členěním do kroků se omezuje rychlé střídání aktivity kanálů (odpínání a zapínání téhož kanálu)
 - | Interval bývá řádově desítky sekund (typicky 30s)
- | rezerva je nutná
 - | ani nejkvalitnější regulátor nezajistí dodržení maxima za všech okolností
 - | vždy je třeba nastavit regulátor s rezervou
 - | velikost rezervy je závislá na charakteru řízených spotřebičů a typu regulátoru

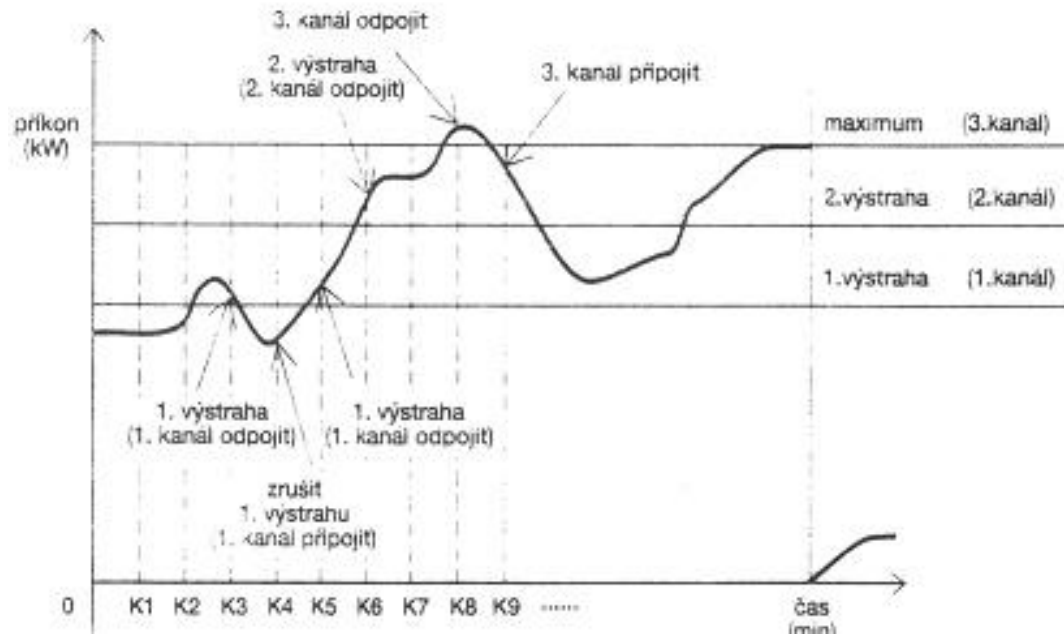
Hladinové algoritmy (činná práce)

- ┆ algoritmus s vyhodnocením činné práce
 - ┆ vyhodnocuje činnou práci od začátku čtvrt hodinového intervalu
 - ┆ významné je pevné přiřazení výstupních kanálů k jednotlivým úrovním (hladinám) sledované veličiny
 - ┆ obvykle je ovládán jen jeden kanál se spotřebiči případně jeden nebo dva kanály pro výstrahu
 - ┆ odpojené spotřebiče jsou vypnuty až do konce $\frac{1}{4}$ hod. intervalu



Hladinové algoritmy (výkonové)

- algorithmus s vyhodnocením příkonu
 - aktuální průměrný výkon je měřen a počítán od minulého kroku
 - je porovnáván s hodnotami čtvrt hodinového maxima
 - je přísnější, než algoritmus s vyhodnocením práce (omezovač výkonu)
 - odpojené spotřebiče lze při poklesu odběru zase zapnout
- s hladinovými algoritmy pracují nejjednodušší regulátory



Výpočet příkonu

- | příkon se vypočítává v rámci každého kroku v ¼ hodinovém intervalu
- | vzdálenost mezi kroky jsou obvykle desítky sekund (typicky 30s)
- | příklad výpočtu:
 - naměřená práce během aktuálního kroku je 0.25 kWh
 - doba trvání kroku je 30s

$$P = A / t \text{ [kW, kWh, hod]}$$

$$P = 0,25 / 0,00833 = 30 \text{ kW}$$

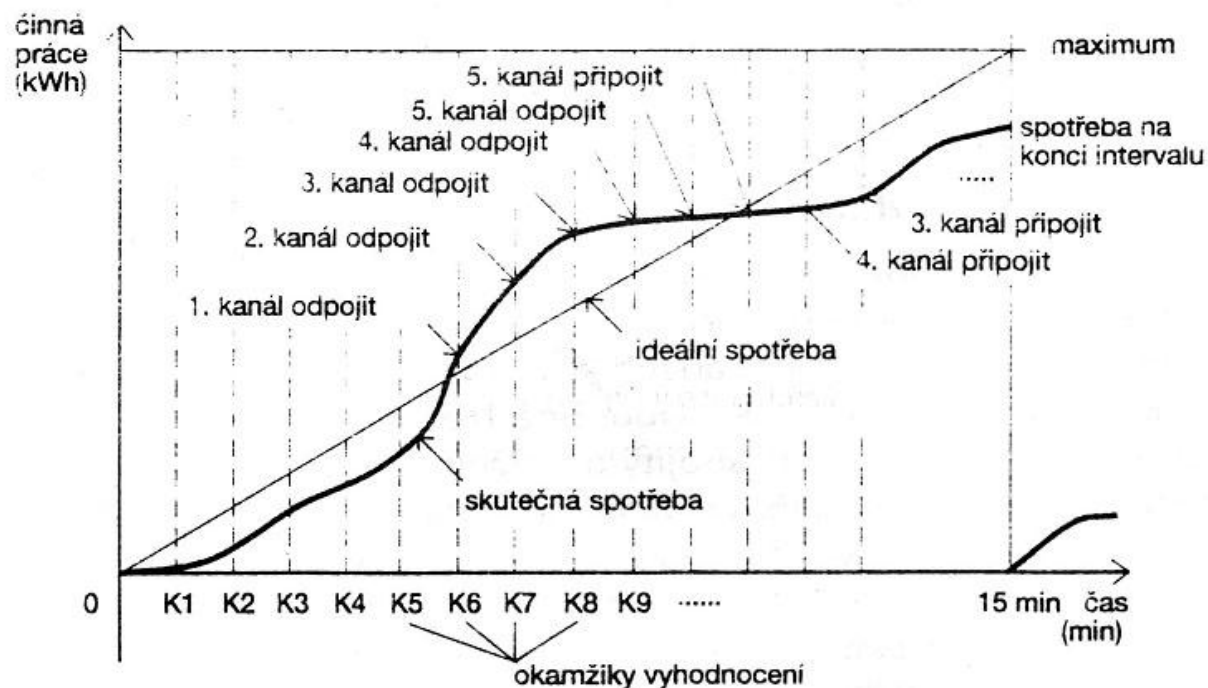
- | vypočtené hodnoty se porovnávají se stanovenými hladinami
- | provádí se zásahy vedoucí k omezení příkonu

Kompenzační algoritmus

- | spočívá v měření činné práce od začátku intervalu
- | střední přímka vystihuje ideální průběh spotřeby
 - | příkon je po celou $\frac{1}{4}$ hodinu konstantní
 - | hodnota příkonu odpovídá technickému maximu
- | princip omezení spotřeby
 - | pokud je činná práce odebraná od začátku intervalu vyšší, než odpovídá ideálnímu průběhu (poloha nad přímkou), omezí se spotřeba (vypnutí prvního kanálu)
 - | pokud je činná práce vyšší i v dalším kroku, odpojí se druhý kanál, atd.
 - | pokud se odběr naopak sníží (poloha pod přímkou), připojují se postupně, předtím odpojené kanály

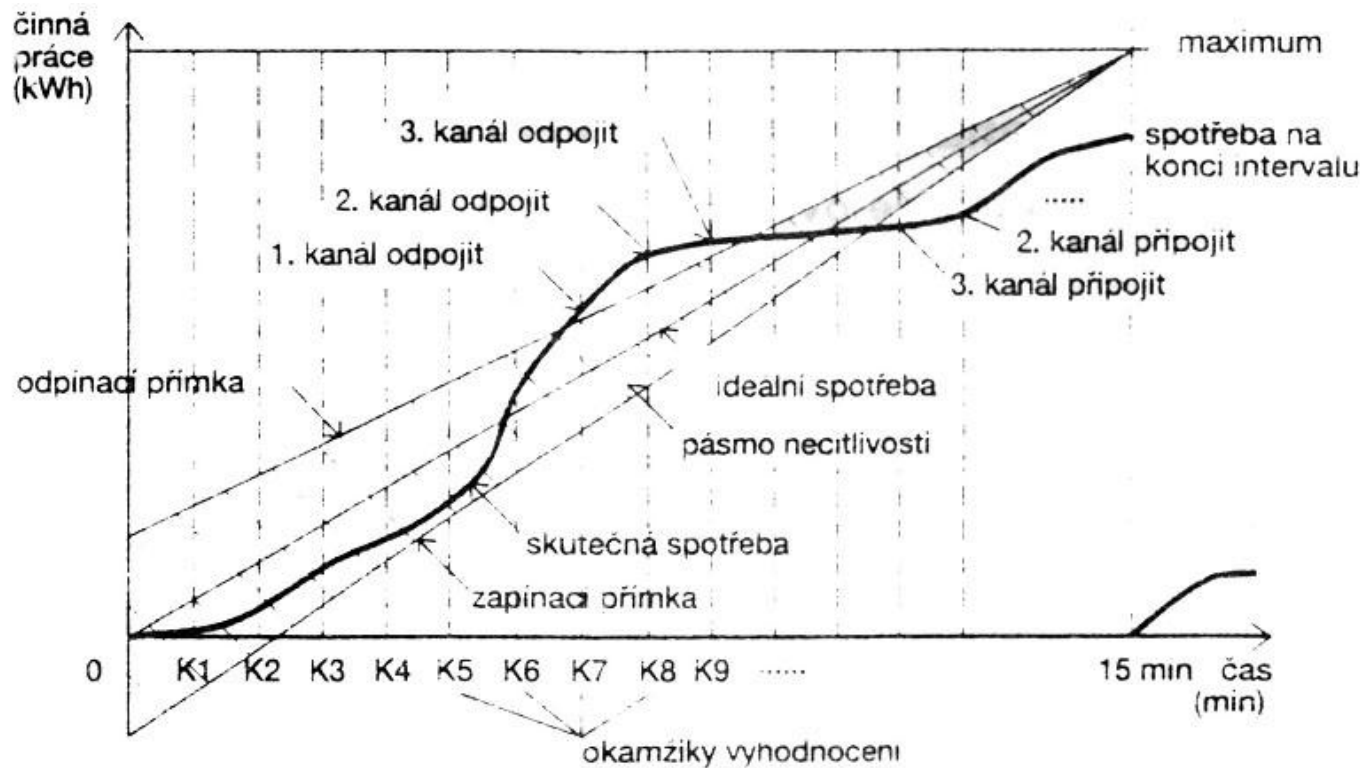
Kompenzační algoritmus v.s. hladinový

- | princip připomíná hladinový algoritmus s vyhodnocením příkonu
 - | rozdíl je v intervalu měření práce a výpočtu příkonu
 - | u hladinového algoritmu se výkon vypočítává v rámci předchozího intervalu (kroku)
 - | u kompenzačního algoritmu se vypočítává průměrný výkon v postupně se prodlužujícím intervalu od počátku ¼ hodiny



Kombinační algoritmus s pásmem necitlivosti

- 1. pásmo necitlivosti se zužuje ke konci intervalu
- 1. zapojování a odpínání kanálů probíhá na hranici pásma necitlivosti (zapínací a odpínací přímka)
- 1. lepší stabilita, klidnější průběh, kanály na začátku ¼ hodiny nejsou zbytečně odpojovány

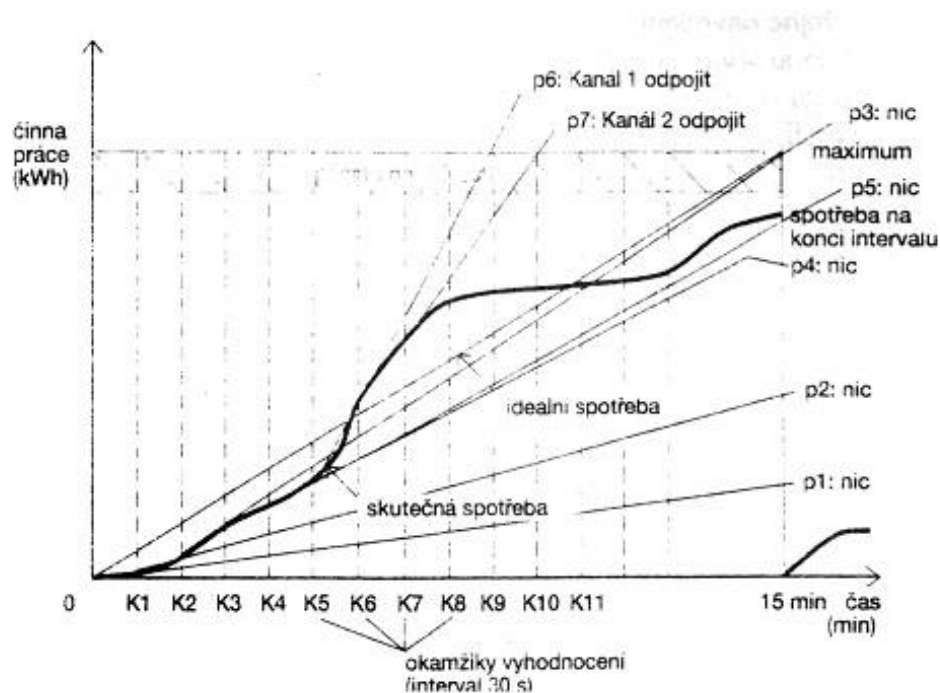


Trendový algoritmus

- | zapojování a odpínání kanálů je určeno „trendem“ spotřeby
 - | trend – předpokládaná spotřeba na konci $\frac{1}{4}$ hod. intervalu
 - | existují různé metody výpočtu trendu
 - | trend je vypočítáván např. propojením dvou sousedních hodnot spotřeby
- | přednosti trendového algoritmu
 - | dopředný charakter rozhodování (předvídavost)
 - | koncový bod diagramu je dosažen s minimem zásahů
 - | minimální omezení spotřeby
- | předpoklady použití trendového algoritmu
 - | deterministické chování soustavy
 - | trend je ovlivňován především ovládanými kanály

Příklad trendového algoritmu

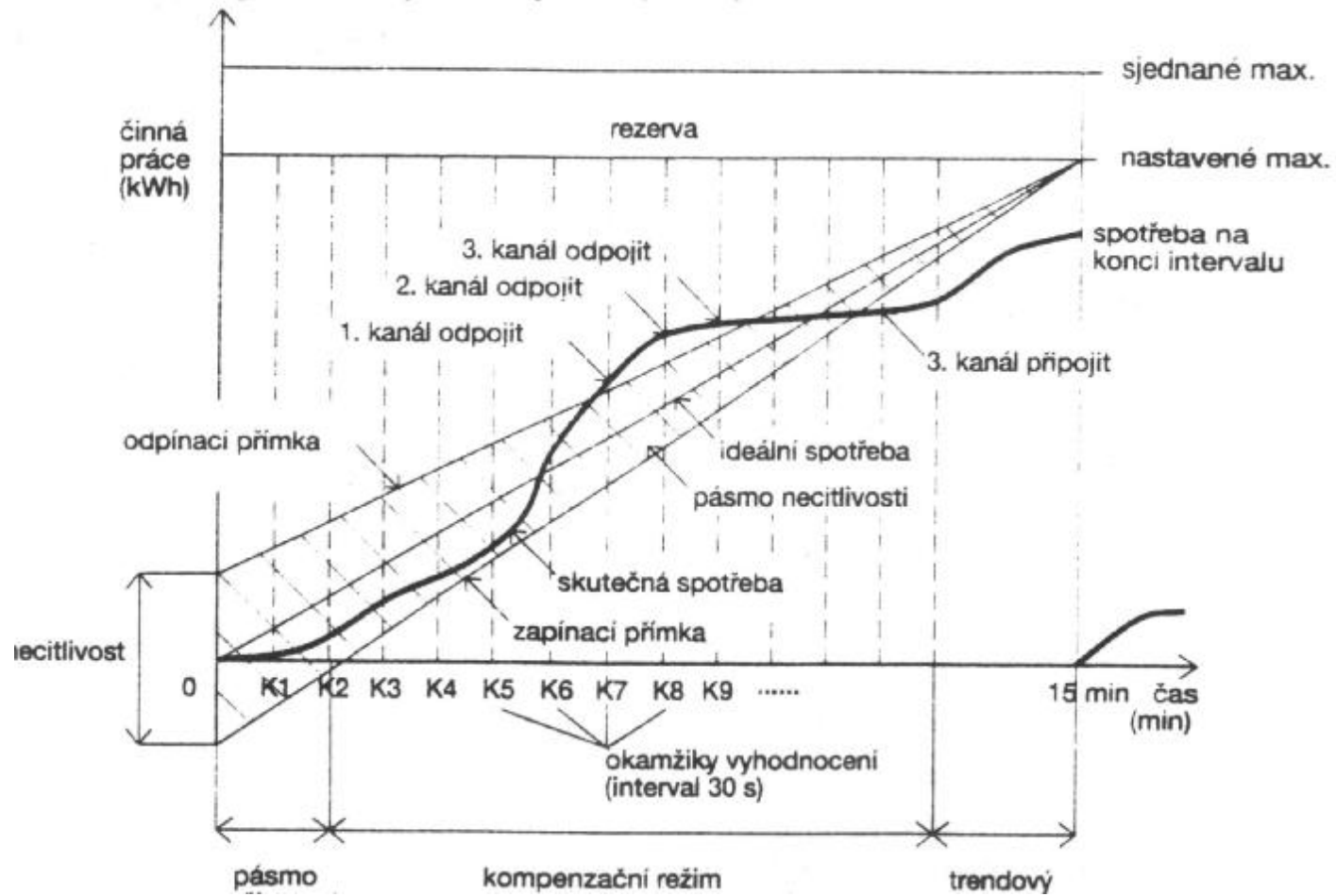
- vyhodnocuje se koncový bod přímky dvou sousedních hodnot spotřeby
 - kanál je odpojen, má-li přímka sklon větší, než je ideální průběh spotřeby
 - v opačném případě je kanál uvolněn



Kombinované algoritmy

- | kvalitní regulátory spotřeby pracují obvykle s kombinovanými algoritmy
- | příklad kombinovaného algoritmu
 - | na počátku $\frac{1}{4}$ hodiny je pásmo bez regulace, všechny kanály povoleny
 - | každý spotřebič může být alespoň na krátký čas zapnut
 - | sekvenční algoritmus s pásmem necitlivosti
 - | před koncem intervalu - trendový algoritmus
 - | ochrana před prudkým nárůstem spotřeby
 - | po celou dobu je aktivní hladinový algoritmus
 - | pojistka před překročením maxima

Příklad kombinovaného algoritmu



Doplňující podmínky

- | někdy je třeba akční zásahy regulátoru vázat na další podmínky
 - | některé spotřebiče nesmějí být v určité době odpojovány
 - | některým spotřebičům je třeba zajistit určitou minimální dobu nepřetržitého provozu
 - | dodržet minimální interval mezi okamžiky odpínání a zapínání
 - | zajistit, aby vypnutý spotřebič zůstal po stanovenou dobu v klidu
 - | existují spotřebiče, které nesnášejí časté připojování a odpojování
 - | spotřebiče při odpojování a připojování mohou mít různou prioritu
 - | priorita se může podle časového programu měnit

Realizace regulátoru spotřeby

- | speciální jednoúčelový regulátor spotřeby
 - | obvykle pouze binární výstupy
 - | vestavěný algoritmus regulace
 - | parametrizace uživatelem
- | personální počítač PC
 - | algoritmus je realizován prostředky PC
 - | vstupy a výstupy pomocí ZMD, nebo komunikačními kanály
 - | stabilita je daná vlastnostmi PC
- | programovatelný automat PLC
 - | většinou kompaktní systém
 - | flexibilita algoritmu řízení
 - | komunikace s obsluhou pomocí operátorského panelu
- | kombinace PLC + PC
 - | regulátor spotřeby realizován prostředky PLC
 - | PC slouží pro vizualizaci, archivaci hodnot, parametrizaci, ..

Dlouhé Stráně



Dlouhé Stráně



Dlouhé Stráně

výkon elektrárny	650	MW
druhy provozu	- turbínový - čerpadlový - kompenzační	
počet soustrojí	2	ks
typ turbín	FR 100	-
Ø oběžného kola	4 540	mm
turbínový spád	534,3	m
typ generátorů	HV 812 830/14 - VA	-
horní nádrž - provozní objem	2 580 000	m ³
kóta koruny hráze	1 350	m n. m.
dolní nádrž - celkový objem	3 405 000	m ³
kóta koruny hráze	824,7	m n. m.
předpokládaná roční výroba energie	997,8	GWh
přechodový čas z klidu do max. turbínového provozu	100	s