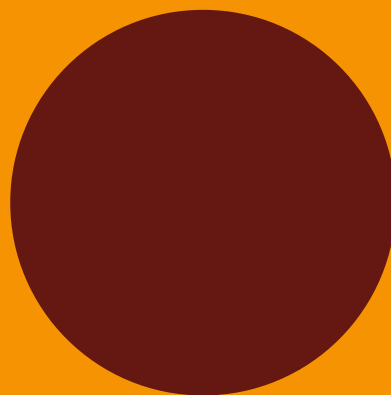
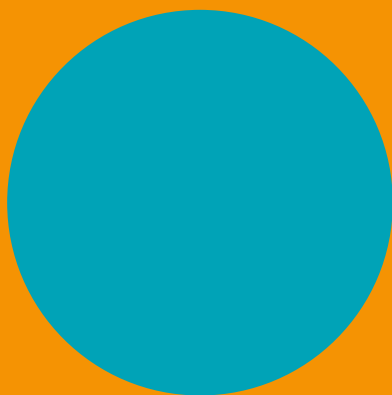


ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

ENERGIE ZE VŠECH STRAN



ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

ENERGIE ZE VŠECH STRAN



OBSAH

Jak skladovat energii • Jan Tůma	7
Energie a její přeměny • Jan Tůma	21
Bydlení a energie • Jiří Hrůza	35
Energie a počasí • Jiří Bubník	45
Elektrická doprava • Jan Tůma	59
Trh s elektřinou • Jan Pisko	73

ÚVOD

Energie je všude, kam se podíváte, doprovází nás po celý život a doslova na každém kroku. Bez ní by nebylo života na této planetě, jsme na ní plně závislí. O to více si energie vážíme a snažíme se pochopit vše, co s ní souvisí. Včetně otázek jejích přeměn, možností skladování, využití v každodenním životě.

Fyzikální zákony nám říkají, že energii jako takovou skladovat nelze. Můžeme však skladovat její nositele: dříví, uhlí, pevná, kapalná i plynná paliva. Zásobu energie si vozí v náplni benzinové nádržky každý motorista, doma či na chatě má podobu hromady palivového dřeva nebo uhlí či briket ve sklepě. Na takovou rezervu nemusí myslet lidé v moderních městech, kde jsou byty vytápěny dálkově z teplárny, vaří se na plynu a kde je na otočení vypínače k dispozici nejuniverzálnější energie všech dob – elektrický proud! Zní to ironicky, ale právě ta nejušlechtilější a nejžádanější forma spotřební energie – elektřina – se dá skladovat nejhůře! Snad jen po troškách v akumulátorech nebo v monočláncích, každá její „kapka“ je ale v takovém případě až dvacetkrát dražší, než když potřebné watthodiny čerpáme přes elektroměr ze sítě. To je důvod, proč energetika hledá způsoby, jak obelstít přírodu a elektrickou energii akumulovat ve velkém jinak.

Energie není něco, co vzniklo samo sebou, nebo co můžeme vyrobit. Existují různé formy či druhy energie, které se podle zákona o zachování energie mohou měnit jeden v druhý. Celkově energie nepřibývá, ani neubývá. Je jí stále stejně. Lidstvo se proto od nepaměti snaží tyto přeměny vědomě a vzhledem ke svým potřebám efektivně zvládnout. V dávné minulosti intuitivně, dnes zcela plánovitě a při využití nejnovějších poznatků řady vědních oborů.





Skládka uhlí v Elektrárně Dětmarovice

JAK SKLADOVAT ENERGII

Energie, resp. její nejrozumnější formy, je všude okolo nás. Prostupuje nás, je motorem života. Dnes a denně potřebujeme v dané chvíli její zcela určitou formu. A ta může být právě v tu dobu „úzkým profilem“. Nezbyvá proto myslet již dnes na zítřek a – pokud je to možné – energii, popř. zdroje energie, ukládat a vytvářet zásoby na horší časy. Většinou to není problém, někdy je však třeba v této souvislosti vyřešit celou řadu technických i ekologických problémů.

SKLADOVÁNÍ TUHÝCH PALIV

Stejně jako před staletím se chataři, chalupáři a obyvatelé samot dávno před příchodem zimy zásobují **palivovým dřevem**. Srovnané špalky či polínka zůstaly koloritem venkova. Pokud je nahradilo **uhlí**, **brikety** nebo **koks**, ukládají se ve sklepech a kůlnách, protože musí být chráněny před deštěm a sněhem. Nezakryté hromady uhlí a zušlechtěného „černého zlata“ spatříte nejspíše na skládkách distribučních uhelných skladů a prodejen nebo vedle zastaralých kotelen, proklínaných okolím pro věčný kouř a saze. Lidé nevidí uhelné haldy rádi ani v uhelných překladištích, protože vítr roznáší uhelný prach do okolí a zamožuje vody černým kalem. Největší uhelné skládky s kapacitou až tisíců vagónů uhlí udržují uhelné doly a úpravní. A také každá tepelná elektrárna si pro případ přerušení dodávek musí udržovat zásobu alespoň na několika-

denní provoz. Energetické uhlí je náchylné k samovznícení, ke kterému dochází oxidací, jakmile výška haldy přesáhne 6 až 8 m. Proto jsou haldy protaženy spíš do délky a šířky a obvykle je zhutňují pásy buldozerů, aby se drobné uhlí co nejméně ocitlo ve styku se vzduchem. Na ploše 25 hektarů se dá takto uskladnit přibližně milion tun uhlí. Skládky jsou komplexně mechanizovány. Velkoelektrárna s několika bloky o celkovém výkonu 1000 MW spálí ročně kolem 3 milionů tun (60 tisíc vagónů) uhlí. Při jeho skladování a manipulaci se počítá se ztrátou 1 až 4 % paliva.

Jaké problémy by měl svět s energetikou založenou jen na uhlí, to dokázal poválečný případ Berlína. Jeho někdejší západní sektor se dvěma miliony obyvatel, odkázaných topením prakticky jen na plyn a uhlí, musel mít po násilném obehnutí zdi zajištěnu roční rezervu paliv pro případ blokády ze

strany tehdejší komunistické NDR, na jejímž území zůstala většina plynáren a elektráren. Vojenské letouny po měsíce v nepřetržitém proudu přepravovaly do izolovaného města brikety, které byly skládány podél náspů rychlodráhy do kilometrových hald. Ty se již po dvou letech začaly vlivem deště, sněhu a větru rozpadat, a tak bylo nutné neustále stavět další a další pyramidy za cenu obrovských finančních ztrát a zamoření okolí.

SKLADOVÁNÍ KAPALNÝCH PALIV

Velkokapacitní skladování ropy se rozšířilo až po druhé světové válce. Současná světová spotřeba ropy je okolo 85 mil. barelů za den. V ocelových nadzemních nádržích našich hlavních rafinerií končí ruská ropa z ropovodu Družba jen pár týdnů po vytěžení a úpravě u ropných studní. Pokud



Do 14 zásobníků ropy společnosti MERO v Nelahozevsi se vejde zásoba v objemu více než jednoho milionu metrů krychlových ropy



Umístění největších plynových zásobníků v ČR

ji odebíráme západoevropskou sítí přes Ingolstadt, je její cesta mnohem delší. Benzin či motorová nafta z ní vyrobené se dostanou do tanků středoevropských benzinových čerpadel bezmála po čtvrt roce. Během přepravy jsou ropa a vyrobená kapalná paliva několikrát uskladňována v překladištích a rafineriích, většinou ve válcovitých a do země zčásti zapuštěných ocelových svařovaných tancích s automatickou protipožární kontrolou a s drenáží, zabraňující při poruše těsnosti vsáknutí do okolní půdy.

Rafinerie samy udržují provozní zásobu ropy na dobu asi 60 dnů, což vyžaduje desítky obřích zásobníků s kapacitou až 2 miliony tun. Pro případ hrozby ropné krize pak většina států udržuje jako státní rezervu zásobu kapalných paliv pokrývající průměrnou spotřebu na dobu 90 dnů. Na to už obvykle ocelové pozemní nádrže nestačí. Proto jak v Evropě, tak v USA byly v geologicky vhodných formacích, v hloubkách od 200 do 2 000 m, vybudovány desítky **podzemních skladů ropy**. Zřizují se buď vyrubáním velkých kaveren v pevné skále, nebo řízeným vyplavením prostor ve vrtech vedených do mocných slaných vrstev. Zatímco pozemní ocelové nádrže mají kapacitu 5 až 100 tisíc m³, má např. ve skále vyhloubený sklad u švédského Brofjordenu

skladovací kapacitu 2 600 000 m³. Ze solné kaverny je ropa vytlačována vodou přiváděnou k jejímu dnu.

Spotřebitelé zásobu lehkých topných olejů na zimní období uskladňují ve válcovitých plastových nebo ocelových zásobnících s kapacitou 750 až 2 000 litrů obvykle ve sklepních prostorách nebo i na zahradě či dvorku rodinných domků.

Motoristé mohou u každé čerpací stanice načerpat do nádrže svého automobilu obvykle 40 až 60 litrů benzínu či motorové nafty a s plnou nádrží mohou do vyčerpání ujet 700 až 1000 km.

OD PLYNOJEMU K PODZEMNÍM ZÁSOBNÍKŮM

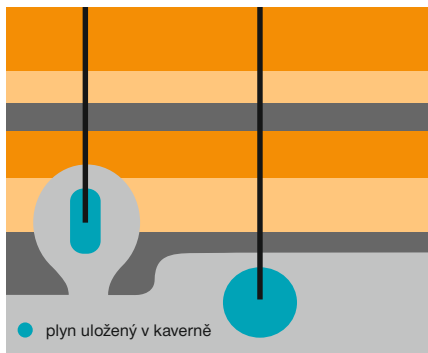
Hned první městské plynárny, vznikající u nás začátkem padesátých let 19. století, potřebovaly zásobníky, jejichž úkolem bylo vyrovnávat rozdíl mezi rovnoměrně vyráběným svítiplynem a jeho měnícím se odběrem. Od menších, tzv. **mokrých plynojemů** se zvonek plovoucím na vodě v ocelové nádrži, se přešlo postupně k **suchým plynojemům**, v nichž plyn vyplňoval prostor pod pohybujícím se utěsněným pístem. Jeden z největších evropských suchých nízkotla-

kých plynojemů v michelské plynárně v Praze měl kapacitu 150 000 m³ svítiplynu.

Dne 6. ledna 1961 došlo při svařování na jeho pohyblivém pístu k požáru, který hrozil explozí plynu, takže obyvatelstvo z okolí muselo být evakuováno. Pro současnou plynárnu Horní Měcholupy byl vybudován obří suchý plynojem s kapacitou 300 000 m³.

Dnes jsou naše města zásobována zemním plynem odebíraným z dálkového a tranzitního plynovodu, převážně ze Sibíře a Norska, v množství kolem 9 miliard m³ ročně. Celá Evropa je protkána sítí plynovodů zásobovaných z několika zdrojů: z Alžíru, Íránu, Ruska a těžebních oblastí v Severním moři. Protože zemní plyn je v obrovském měřítku využíván pro otop a výrobu tepla, stoupá jeho odběr v zimním období na trojnásobek až pětinasobek nejnižší letní spotřeby. Dodávky plynu jsou však po celý rok rovnoměrné, a tak je nutné během léta akumulovat objem 20 až 30 % celoroční spotřeby plynu, který pak kryje převyšující zimní spotřebu. Na takový úkol sebevětší pozemní plynojemy nestačí. Cestu ukázali američtí energetici, kteří dali roku 1916 do provozu u Buffala první **podzemní zásobník**.

Ukázalo se, že až několik miliard m³ zemního plynu lze bez vysokých nákladů vtlačit do vyčerpaných ložisek ropy, do hlubinných



Podzemní skladování plynu ve skalní kaverně

porézních nebo zvodnělých vrstev obklopených nepropustnými horninami (tzv. aquifer) nebo do utěsněných prostor bývalých hlubinných dolů. V současné době slouží k vyrovnávání spotřeby zemního plynu na světě kolem 600 podzemních zásobníků s celkovou kapacitou 300 mld. m³.

Příkladem aquiferu je v České republice zásobník Lobodice, který byl i prvním zásobníkem plynu u nás – od r. 1965 v něm byl skladován svítiplyn, od r. 1995 zemní plyn.

Kompresorová stanice vhání plyn sondami do propustných vrstev, odkud vytlačuje podzemní vodu. Stovky metrů pod povrchem se tak plní plynové „kapsy“ obklopené vodním pláštěm pod nepropustnou vrstvou. Po otevření uzávěrů sběrných sond začne tlak vody vytěšňovat plyny do odběrového potrubí.

Česká republika používá pět podzemních zásobníků na Moravě s kapacitou 1,7 mld. m³ plynu. Zásobník Tvrdonice (**Hrušky**), zřízený pod sedmi vesnicemi, umožňuje v hloubkách kolem 1 až 2 km uložit téměř miliardu m³, a nahradí tak pět tisíc obřích suchých plynojemů! Ve světovém měřítku unikátní podzemní zásobník pro uložení zemního plynu pod vysokým tlakem je v opuštěném rudném dole v Příbrami.



Podzemní skladování zemního plynu ve zvodnělých vrstvách

Zemní plyn se však dá s výhodou skladovat i po svém zkapalnění.

Více než kilometr pod zemským povrchem ukrývá na jihu Moravy několik bývalých ložisek plynu zásoby paliva, které slouží pro dorovnání spotřeby u nás v případech nedostatku plynu.

Zemní plyn z Ruska vstupuje do Česka ze Slovenska v předávací stanici u Lanžhota na Břeclavsku. Jeho dalšímu proudění do vnitrozemí a Evropy pomáhá kompresní stanice plynu u několika kilometrů vzdálených Hrušek. Tam je první ze zásobníků. Jedná se o vytěžené ložisko zemního plynu, které bylo uzpůsobeno k novému účelu. Rezervoár u Dolních Dunajovic má celkovou kapacitu 576 milionů kubických metrů plynu a podzemní zásobník Uhřetice dalších 180 milionů kubických metrů.

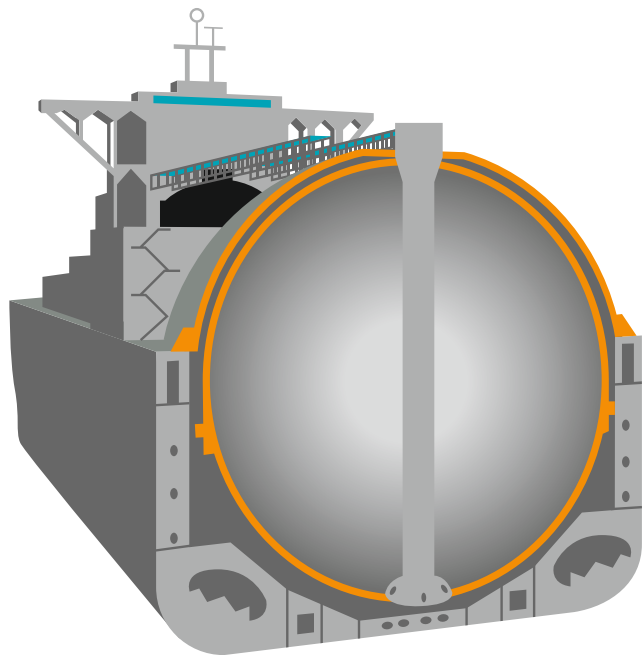


Kompresorová stanice vtačující zemní plyn do podzemního skladu



Zásobníky pro uskladňování a autocisterna pro přepravu zkapalněných plynů

Největší zásobníky u nás využívají celkem tři různé technologie podzemního ukládání plynu – plynová ložiska, aquifer a skalní kavernu. Tyto zdroje jsou sloučeny do jednoho



Námořní doprava zkapalněného plynu LNG

Řez tankerem na převoz zkapalněného plynu

virtuálního zásobníku plynu s celkovou kapacitou 2,321 miliardy metrů krychlových. Denní spotřeba zemního plynu se v České republice pohybuje (zima 2009) kolem 50 miliónů metrů krychlových.

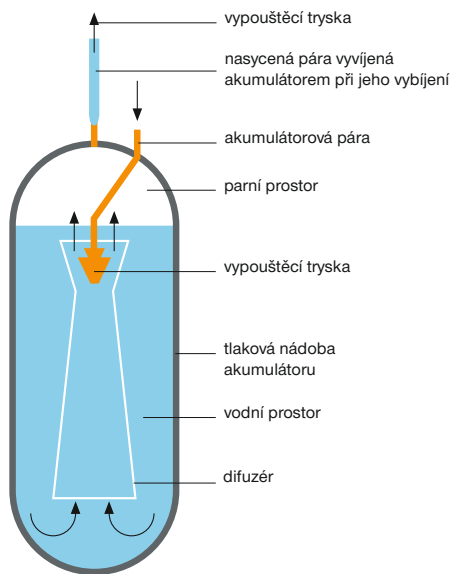
ZKAPALNĚNÝ PLYN ZAUJÍMÁ 600KRÁT MENŠÍ OBJEM

O tom se poprvé přesvědčili Američané, kteří dali v Texasu do provozu zařízení na zkapalňování zemního plynu. Ukázalo se, že tuto tekutinu lze ve vakuově izolovaných nádržích s dvojitými stěnami udržovat při teplotě $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ve velkém začala zkapalňovat metan uskláňovat v nadzemních, tzv. kryogenických zásobnících plynárenská společnost East Ohio Gas v Clevelandu roku 1941. Nadšení pro zkapalňování zemního

plynu ochablo, když o tři roky později jeden ze čtyř zásobníků praskl, výpary rozlitého plynu explodovaly a do okolí se vylil i obsah druhého zásobníku. Při havárii zahynulo 128 osob a čtyři sta dalších utrpělo těžké popáleniny. Přesto se přeprava a uskládování zkapalněného plynu po druhé světové válce rozšířilo a dnes se v tekuté fázi přepravuje kolem 20 % světové těžby. Speciální tankery označované LNG (Liquefied Natural Gas) přepravují v kulových kryogenických zásobnících zkapalněný plyn např. z alžírského Arzewu do francouzského přístavu Le Havre. Tokio je podobným způsobem zásobováno zkapalněným zemním plynem z Aljašky, New York ze severní Afriky apod. V přístavech se za mimořádných bezpečnostních opatření tekutina přečerpává do nadzemních nebo podzemních zásobníků.

Zemina podzemních jeskyní se hlubokým mrazem sama utěsní při první náplni. Zásobníky nejsou pod tlakem a nad hladinou z nich uniká mírným odparem nepatrná část plynu, který je odváděn a využit, u tankerů LNG například k jejich pohonu.

Podobným způsobem se přepravuje a skladuje i kapalný **propan-butan**, který však vyžaduje jen „mírnější“ teplotu pod $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tankery nebo vozidla pro jeho přepravu jsou značena LPG (Liquefied Petroleum Gas). Malospotřebitelé odebírají propan-butan v ocelových tlakových láhvích pro 1, 2, 10 nebo 33 kg plynu. Z jednoho kilogramu kapalně naplně se snížením tlaku přes redukční ventil uvolní téměř 500 litrů nejdovatého plynu s vynikající výhřevností 45 MJ/kg . Čisté spalování s minimem škodlivých zplodin vede k pokusům o využití



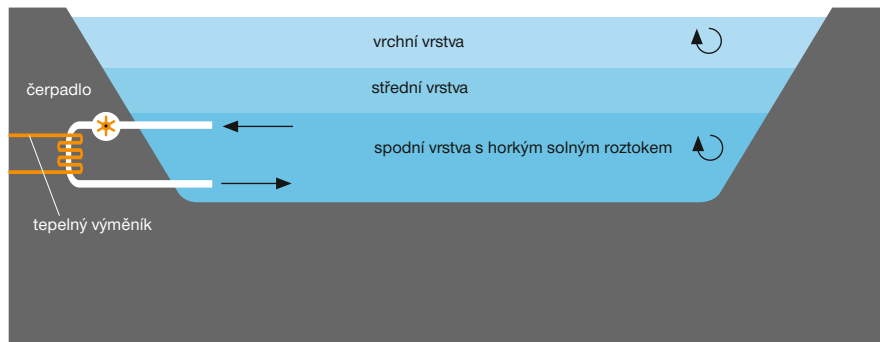
Ruthsův akumulátor páry

propan-butanu nebo zkapalnělého zemního plynu k pohonu motorových vozidel, zejména městských autobusů a užitkových vozidel.

AKUMULÁTORY TEPLA JEŠTĚ NEDOZRÁLÝ

Téměř 80 % energie spotřebováváme ve formě tepla. Přesto právě pro tuto energii hledáme již víc než sto let příhodný akumulátor, který by ji dokázal ve chvílích přebytku uschovat a ve chvíli potřeby vrátit. Krátkodobé zásobníky tepla běžně užíváme v domácnostech v podobě akumulčních kamen nebo zásobníkových ohříváčů (bojlerů).

Horkovodními, parními a parovodními akumulátory se začala energetika zabývat v souvislosti s rozvojem parních elektráren



Rozložení slaných vrstev ve slunečním „rybníku“

a vytopen. Nejúspěšnějším zařízením po celá desetiletí byl a je tzv. **Ruthsův parovodní akumulátor**. Přebytečná pára z kotelny předává svou tepelnou energii kondenzací chladnější vodě v tlakové válcovité nádobě. Při kondenzaci každý kilogram páry vrácí 2 250 kJ, které musela kotelna na jeho odpaření předtím vynaložit. Při „nabíjení“ parovodního akumulátoru roste v jeho nádobě tlak i teplota. Potřebujeme-li energii odebírat, otevřeme ventil na vrchní části akumulátoru. Stačí nepatrný pokles tlaku v prostoru nad hladinou horké vody, aby došlo k jejímu prudkému varu a odpařování. Stovky takových parovodních akumulátorů sloužily v předválečných tepelných elektrárnách a kotelnách v nejrůznějších zapojení. V noci se nabíjely přebytečnou ostrou parou, ve chvílích špičkového odběru mohla tato pára posílit výkon kotlů, nebo byla vedena do turbin, případně v zimním období byla využívána toplicí. Akumulátor vysoký jako několikapatrový dům mohl akumulovat až 600 tun páry. To by v dnešních tepelných velkoelektrárnách vystačilo sotva na hodinový provoz 200 MW turbosoustrojí.

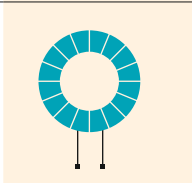
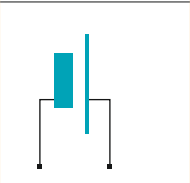
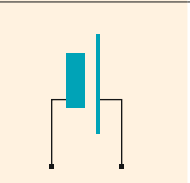
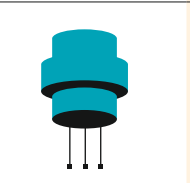
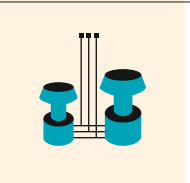
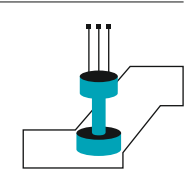
Pro akumulaci tepla získaného ve slunečních kolektorech jsou vyvíjeny nejrůznější typy **latentních zásobníků tepla**, založených na vypařování a kondenzaci, nebo tání a tuhnutí nejrůznějších látek, jejichž teplota

se v průběhu akumulace nemusí příliš měnit. Nadějný je např. glycerol, parafin nebo Glauberova sůl. Jistou naději vkládají vědci do využití zeolitů – křemičitanů s velkou vnitřní plochou struktury, schopných pojmout značné objemy vody a v každém cm³ absorbovat téměř 800 J.

Do praxe se zatím prosadily spíše jednodušší metody akumulace nízkopotenciálního tepla ve vodních nádržích a ve šterkovém loži. Rozsáhlý pokus o celoroční vytápění sídliště s 55 rodinnými domky prakticky jen solární energií se uskutečňuje ve Švédsku. Teplo soustředěné z parabolických kolektorů s plochou 2 600 m² je akumulováno do horkovodního zásobníku o objemu 14 tisíc m³. V mrazivých dnech však musí vypomáhat pomocná kotelna na topný olej. Švýcarský projekt počítá s akumulátorem vyplněným šterkem, který se ohřívá cirkulujícím médiem na 30 až 100 °C. Ukázalo se, že každý m³ vody je schopen akumulovat 40 kWh, kdežto m³ šterku sotva polovinu této energie.

Nejjednodušším akumulátorem tepla se stávají tzv. **sluneční bazény**. Mají černé zabarvené dno a boky kvůli nejvyššímu pohlcování tepelného záření a v jejich vodní náplni se rozpouští sůl tak, aby se koncentrace u dna blížila 28 %. Sluneční paprsky prostoupí horními, méně slanými vrstvami

Přehled nejužívanějších způsobů akumulace elektrické energie

	Supravodivý indukční akumulátor	Pokročilé akumulátory	Olověný akumulátor	Setrvačnickové akumulátory	Tlakovzdušné akumulární elektrárny	Přečerpávací hydroelektrárny
doba akumulace	ohraničeně	neomezeně	neomezeně	ohraničeně	ohraničeně	neomezeně
doba přepnutí	0,02 s	0,02 s	0,02 s	0,1 s	10 s	120 s
objemová kapacita	10 ⁶ J/m ³	10 ⁷ J/m ³	10 ⁶ J/m ³	10 ⁶ J/m ³	10 ⁶ J/m ³	10 ³ J/m ³
účinnost	90–95 %	70–80 %	60–80 %	70–85 %	70 %	65–75 %
reálná kapacita	do 4000 MWh	20–50 MWh	20–50 MWh	10–50 MWh	200–1000 MWh	200–3000 MWh
						

a asi 30 % pohlcené energie se akumuluje v nejspodnější vrstvě, odkud je cirkulací přes tepelný výměník v případě potřeby odbíráno. Teplota vody v bazénu krytém nahore průsvitnou fólií kolísá od 50 °C v zimě do 95 °C v létě. Největší sluneční bazén zřízený k vyhřívání městského plaveckého bazénu byl zřízen v Miamisburgu u Ohia (USA). Zaujímá plochu půl hektaru a v 12 milionech litrů vody má rozpuštěny dva tisíce tun soli. Do hloubky tří metrů se podle koncentrace voda rozděluje na tři vrstvy s různou samovolnou cirkulací. V červenci má teplotu 64 °C a vyhřívá plavecký bazén, v únoru 28 °C a vyhřívá rekreační budovu.

CESTY K AKUMULACI ELEKTRICKÉ ENERGIE

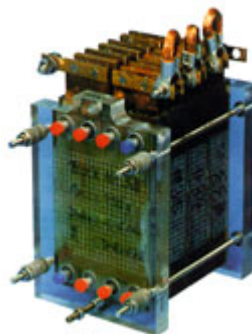
Největší odběr elektřiny nastává ve střední Evropě třikrát denně: ráno po šesté hodině, když se spouštějí stroje v továrnách,

kolem osmnácté hodiny večer, kdy vzroste nápor na elektrickou hromadnou dopravu a rozsvěcí se světla a okolo dvaadvacáté hodiny večer, kdy se automaticky zapínají ohříváče vody a v zimě akumulární kamna. Mezi půlnocí a pátou hodinou ranní je naopak spotřeba elektřiny nízká. V zájmu nejvyšší hospodárnosti provozu se krytí základního zatížení svěruje velkým tepelným a jaderným elektrárnám a průtočným hydroelektrárnám. Vzroste-li odběr nad jejich okamžitou kapacitu, připojují se k nim i tzv. závodní elektrárny patřící velkým podnikům a spouští se akumulární a přečerpávací vodní elektrárny.

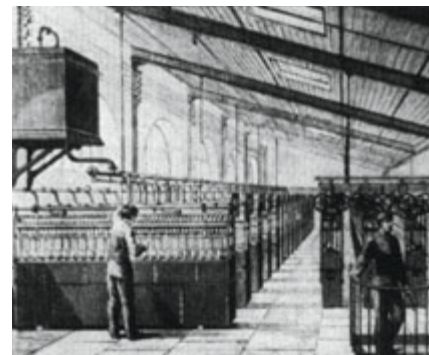
Elektroenergetické sítě na všech kontinentech se rozrůstají, navzájem propojují a to umožňuje vzájemnou výpomoc při překonávání špiček odběru nebo při výpadku některých velkých zdrojů energie. Kdyby se např. podařilo propojit mezinárodní elektroenergetickou soustavu v šíři 120 po-

ledníků, sahající od Bajkalu až po V. Británii, odběrové diagramy jednotlivých oblastí by se vzhledem k posunu času téměř vyrovnávaly. Politické přeměny i rozdílnost vybavení západoevropských a východoevropských sítí to však zatím nedovolují. Naše elektrizační soustava CENTREL byla se západoevropskou soustavou UCPTÉ synchronně propojena dne 18. 10. 1995 ve 12.30 h.

Cena každé kilowatthodiny z dovozu ve chvíli špiček mnohonásobně vzrůstá, a proto energetici léta hledají, vyvíjejí a ověřují způsoby, jak přece jen elektrické výkony hospodárně akumulovat buď v rámci energetické soustavy (v našich poměrech jde o výkony řádově gigawattů), nebo u velkých odběratelů. Z několika desítek teoretických možností v oblasti „malé energetiky“ (u malospotřebitelů) jsou nejvíce rozšířeny olověné a ocelové akumulátory. „Velká energetika“ se zase opírá o přečerpávací vodní elektrárny.



Olověné desky průmyslového akumulátoru s kapacitou 400 W



Historický pohled do jedné z prvních akumulátorových „elektráren“ v New Yorku (1880)

Představíme vám však ještě čtyři další, teprve prověřované nové principy akumulace elektrického výkonu. Přehledná tabulka názorně odlišuje oblasti jejich uplatnění.

Reálná kapacita jednotlivých způsobů v MW nebo MWh předurčuje jejich uplatnění u maloodběratelů v dopravě nebo ve velké energetice. Nejdůležitějšími dalšími parametry jsou:

- **Celková účinnost**, ukazující jaký výkon nebo kolik energie nám vrátí z toho, co jsme do nich museli předtím vložit,
- **objemová energetická kapacita** v joulech na m^3 hovoří o jejich rozměrech,
- **dobu přepnutí** prozrazuje, jak pohotově (za kolik sekund či minut po „nabití“) z nich můžeme energii odebírat. A podobně jako u elektrických baterií nás zajímá **dobu** akumulace, čas, po který náboj energie dokáže udržet.

I. OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY

Důvěrně je zná každý motorista, protože jejich energií spouští motor svého automobilu. Akumulují proud z dynam na podvozcích vagónů, pohánějí elektrovozíky a nakládače a v moderním kompaktním provedení s nimi počítají i elektromobily. Olověný akumulátor vynalezl roku 1859 francouzský fyzik

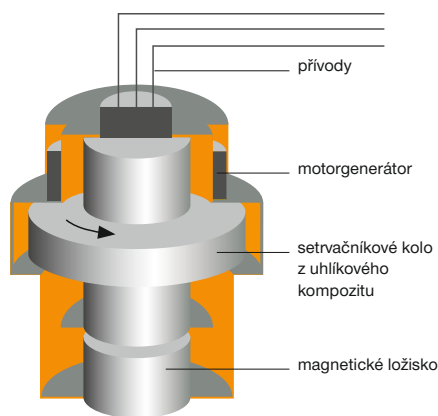
G. R. Planté. Sestává z párů olověných desek, ponořených do nádoby s roztokem kyseliny sírové. Na deskách nenabitého akumulátoru se usadí účinkem kyseliny síran olovnatý PbSO_4 . Připojením stejnosměrného napětí při **nabíjení** se na kladné elektrodě vytváří červenohnědý oxid olovičitý PbO_2 , záporná elektroda se pokryje tmavě šedou vrstvou houbovitého olova. Tím se nabitý akumulátor přeměnil v galvanický článek. Elektrolyt zhoustne a na svorkách páru elektrod změříme napětí 2,1 V. Při **vybíjení**, po spojení svorek elektrod přes zátěž, začne probíhat opačná chemická reakce než při nabíjení. Prakticky nesmí napětí článků klesnout pod 1,8 V. V „prehistorické době“ prvních stejnosměrných elektráren (1870–1890) se proud z dynam hnaných parními stroji nebo vodními turbínami střídal k dennímu napájení sítě ve velkých akumulátorovnách s olověnými deskami zavěšenými do van s kyselinou. Současné hromadně vyráběné akumulátory jsou kompaktní. Nádoby mají vyplněny větším počtem párů destiček oddělených pórovitými separátory. Podle počtu olověnými spojkami propojených článků na uzavřeném povrchu dávají napětí 6, 12, 24 nebo 48 V. Dosahují vynikající účinnosti okolo 80 %. Nejrozšířenější automobilové akumulátory 12 V mají

kapacitu 50 Ah (ampérhodin) a snesou až 500 nabíjecích cyklů. Ovšem k tomu, aby do jimi vyzbrojené akumulátorovny mohl průmysl akumulovat pouhých 1000 kWh, by bylo nutné instalovat a zapojit 25 tun akumulátorů...

II. POKROČILÉ ELEKTROCHEMICKÉ AKUMULÁTORY

Na otřesy jsou méně choulostivé **nikl-ocelové akumulátory (NiFe)**, vynalezené **T. A. Edisonem**. Jejich ocelové a niklové destičky, vzájemně vystřídané, jsou ponořeny do elektrolytu na bázi hydroxidu draselného KOH. Články mají napětí jen 1,4 V a pro snazší údržbu je nejvíce využívá železnice.

Pro elektromobily a elektrobusesy slibující ekologický provoz, dále k napájení akumulátorového nářadí, záznamových kamer, mobilních telefonů, počítačů a bouřlivě se rozvíjejících přenosných elektronických přístrojů se vyrábí nebo vyvíjí řada pokročilých akumulátorů, které by měly v kilogramu své hmotnosti akumulovat nejméně 150 Wh energie – přibližně trojnásobek toho, co nabízejí akumulátory olověné. Ty nejlepší, které se k tomuto parametru blíží, jsou však příliš drahé, neboť využívají převážně vzácné kovy.



Setrvačnickový akumulátor s rotorem z uhlíkového kompozitu zavěšeným v magnetických ložiskách, otáčejícím se rychlostí 100 000 otáček za minutu

Pro akumulátorové nářadí a mobilní elektroniku to jsou např. **akumulátory niki-kadmiové (NiCd)**, sestavené z článků o napětí 1,2 V. Nabízejí se s kapacitou od 0,3 do 8 Ah, snášejí tři tisíce nabíjecích cyklů a ultrarychlé nabíjení (pod 1 hodinu). Trpí však tzv. paměťovým efektem, snižujícím výrazně jejich kapacitu, pokud je před nabitím zcela nevybijeme.

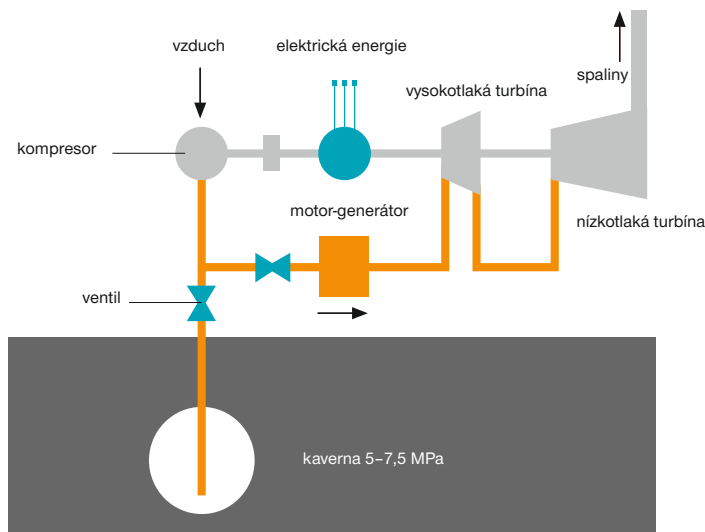
Kvůli výhradám ekologů vůči obsahu kadmia jsou nově nahrazovány **akumulátory niki-metalhydridovými (NiMH) a lithiium-ontovými (Li-Ion)**, vykazujícími třikrát vyšší měrnou kapacitu než akumulátory NiCd. Zejména poslední netrpí paměťovým efektem ani samovybitím, jsou však podstatně dražší.

Pro vyšší výkony, např. pro pohon elektromobilů, se ověřují **zinko-vzdušné akumulátory**, v nichž probíhá elektrochemická reakce na porézních elektrodách, oddělujících vzduch od zinku, nebo **sodíko-sírové akumulátory**, pracující při teplotě okolo 300 °C, potřebné k roztavení sodíku a síry. Měrným výkonem až 300 W/kg překonávají

trojnásobně výkon stejně těžkých akumulátorů olověných.

III. SETRVAČNÍKOVÉ AKUMULÁTORY

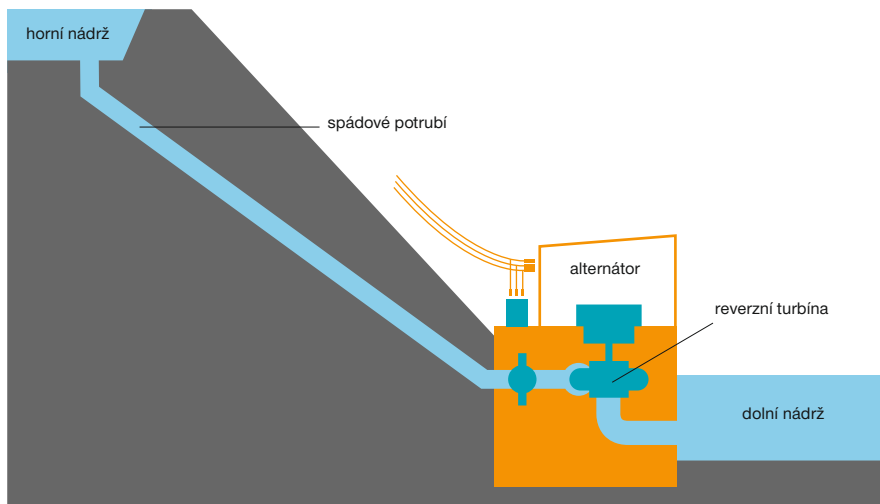
Setrvačnický je historicky prvním akumulátorem energie, protože setrvačnosti rotující hmoty kotouče poháněného nohou využívali hrnčíři již tisíce let př. Kr. Ve století páry pomáhal svou kinetickou energií překonávat mrtvé body mechanismu parních strojů a dnes je samozřejmou součástí vyrovnávacího chodu všech druhů pístových spalovacích motorů, mechanických lisů a jiných strojů. Energií na úkor svých otáček dokáže odevzdat se zpožděním pouhých zlomků sekundy. K akumulaci elektrického výkonu se dá nejjednodušší využít tím způsobem, že co nejtěžší setrvačnický upevníme na hřídel elektromotoru, poháněného elektrickým proudem, jehož „dávku“ potřebujeme akumulovat. Při odběru energie se elektromotor chová jako dynamo či alternátor a akumulovanou energii vrátí!



Zjednodušený princip tlakovzdušné akumulace elektrického výkonu v akumulární elektrárně se spalovacími turbinami v Hüntertu (Německo)

Švýcarsko zavedlo již před padesáti lety na zkoušku **elektrické gyrobusey** – upravené trolejbusy s jedenapůltunovým setrvačnickem pod podlahou na hřídeli elektrického stroje – motoru a generátoru. Po zastavení ve stanici vozidlo vysunulo sběrače k napájecímu stožáru. Proud ze sítě během jedné a půl minuty urychlil setrvačnick a do jeho vyšších otáček akumuloval asi 10 kWh energie. Ta po stažení sběrače vystačila trolejbusu se staženým sběračem k jízdě na další zastávku s nabíjením. Deset „nabitých“ kWh dovoluje obsazenému elektrobuse ujet v městském provozu nejméně dva kilometry i se zastávkami na křižovatkách. Kvůli gyroskopickému momentu (roztočený setrvačnick nerad mění rovinu své rotace), ovlivňujícímu dynamiku a stabilitu jízdy, se však ani lehčí typy vysokootáčkových gyroskopů u elektromobilů neuplatnily, přestože mohou navíc akumulovat i část jinak brzděním mařeného energie.

Vývojáři už dávno upustili od těžkých litinových kol a nahrazují je mnohem lehčími a menšími čokovitými setrvačníky



Uspořádání přečerpávacích vodních elektráren

z vyztužených plastů, které ve speciálních ložiskách a ve vakuové nebo heliem plněné skřini nechávají otáčet až desettisíckrát za minutu. Rekord drží supersetrvačnick s hmotností jen 0,6 kg, který jako rotor otáčející se v prstenci indukčních cívek v magnetickém závěsu dokáže 1 milion otáček za minutu!

Na tomto principu založené setrvačnickové zásobníky energie začíná využívat i průmysl pro překonání krátkodobého výpadku sítě, který může způsobit pohromu řídicím a počítačovým systémům ve výrobě. Setrvačnickový akumulátor DYBAT, který dokáže po dobu 30 s dodávat výkon 70 kW, má i s pláštěm hmotnost jen 70 kg. Setrvačnick z kompozita s uhlíkovými vlákny koná ve vakuu 20 tisíc otáček za minutu. Kombinovaná magnetická a mechanická ložiska zaručují životnost nepřetržitého otáčení po dobu deseti let. Tím a také vysokou energetickou účinností (vyšší než 80 %) překonávají po všech stránkách tradiční zálohovací akumulátorovny a mohou se zapojit paralelně do baterií, schopných krátkodobě vydat akumulovaný elektrický

výkon až do několika MW. Často se používají k napájení fúzních experimentálních zařízení – tokamaků.

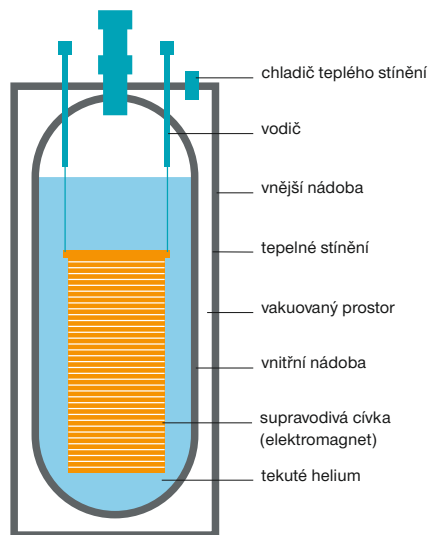
IV. TLAKOVZDUŠNÉ AKUMULAČNÍ ELEKTRÁRNY

Jsou variantou elektráren s plynovými turbinami, které mohou přebytečný noční elektrický výkon akumulovat do vzduchu vhaněného pod vysokým tlakem do utěsněných podzemních jeskyň nebo důlních kaveren. Při pohonu alternátorů plynovou turbinou se až 2/3 energie uvolněné spalováním plynu spotřebovávají k pohonu kompresoru a jen jedna třetina se mění v energii elektrickou. Proto bylo navrženo oddělit mechanicky i časově provoz turbíny a kompresoru, aby se v případě potřeby mohl pro výrobu elektřiny využít plný výkon turbíny bez zátěže kompresorem, jehož funkci může po dobu několika hodin nahrazovat stlačený vzduch odebíraný z podzemního zásobníku. Kompresor lze pohánět elektromotorem, odebírajícím levný noční přebytečný elektrický výkon. Takové

zařízení, jež je obdobou přečerpávací vodní elektrárny, bylo poprvé uvedeno do provozu roku 1974 v německém Hunterfu. Plynová turbína tu v tříhodinové špičce dodává do sítě výkon 290 MW. Tlak vzduchu skladovaného ve dvou solných jeskyních s jímacím prostorem 150 000 m³ se pohybuje od 5 do 7,5 MPa. Podobně se dá skladovat i elektřina z větrných elektráren.

V. PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY (PVE)

Princip PVE je prajednoduchý. Mají svou dolní a horní vodní nádrž propojenou potrubím, v němž jsou zařazeny vodní turbíny a čerpadla. Při přebytku elektrické energie v síti čerpají čerpadla vodu z dolní nádrže do vysoko položené horní nádrže. Elektrická energie se tak mění v hnací elektromotoru nejprve v kinetickou energii proudící vody a potom v její energii potenciální v horní nádrži. Tam je připravena, aby v případě potřeby zpětným průtokem poskytla vysoký výkon vodním turbinám, jejichž alternátory ji vracejí v podobě elektrické energie do sítě.



Malý supravodivý akumulátor UPS



Výpust přečerpávací vodní elektrárny Štěchovice do řeky Vltavy

Mohou mít několik variant: dolní nádrž je obvykle zřízena za hrází průtočné vodní elektrárny na říčním toku a horní nádrž, se kterou je spojena několika tlakovými potrubími, je vybudována na některém blízkém vrcholu. Spády se pohybují od 100 do 500 m. Dolní nádrž může s výhodou sloužit i jako zásobník chladicí vody pro chladicí věže nedalekých tepelných nebo jaderných elektráren. Ve vysokých horách je možné využít v roli nádrží i odlehlejší vysokohorská jezera s velkým výškovým rozdílem, která se propojí tunelovými šachtami.

Větší PVE, stavěné od třicátých let, používají **třístrojová soustrojí**. Motorgenerátor je umístěn v betonové šachtě elektrárny zcela nahoře v úrovni podlaží strojovny. Jeho hřídel, zavěšený na speciálním ložisku, nese oběžné kolo vodní turbíny a zcela dole, pod úrovní spodní hladiny, je uloženo oběžné kolo odstředivého čerpadla. Při čerpání vody se spirálová komora turbíny zavzdušní a alternátor v roli elektromotoru pohání přes hřídelovou spojku čerpadlo. Při elektrárně-

ském provozu se zavzdušní komora čerpadla (nebo se rozpojí jeho hřídelová spojka) a voda pod vysokým tlakem pohání turbínu s alternátorem.

Dnes se používají většinou **tzv. reversní turbíny**, v nichž oběžné kolo turbíny vykonává v čerpacím režimu funkci čerpadla. Ve vývoji reverzních turbín u nás vynikli ing. **V. Hosnedl** a akademik **M. Nechleba** z VUT v Brně. Jestliže účinnost přečerpávacího cyklu se u starších jednotek pohybovala kolem 50 %, současná soustrojí umožňují akumulaci s účinností až 75 %. To znamená, že na „uskladnění“ každé kWh je nutné v čerpacím režimu vynaložit jen asi 1,3 kWh. Velmi levné noční kilowatthodiny se tímto způsobem promění v špičkové kWh, mající pro energetiku cenu zlata. Plný výkon jsou některé moderní PVE schopné dodávat už za 1,5 min. po spouštěcím povelu.

Největší PVE s jednotkami po 300 MW zvládnou akumulační výkony až 3 000 MW. Současnou tabulku největších přečerpávacích elektráren světa vede PVE Dinorwic

v britském Walesu. Disponuje akumulačním výkonem 1800 MW, který začne dodávat 15 vteřin po spuštění, takže by dokázala zabránit i rozpadu elektroenergetické sítě při katastrofálním výpadku velké elektrárny v síti. Z důvodů zachování krajiny, nebo tam, kde není k dispozici potřebný spád, se budují PVE, které využívají jako horní nádrž přírodní jezero, spodní nádrž a strojovna však jsou vybudovány hluboko pod zemí. Když se zvýší např. dnes obvyklé stometrové spády PVE až na 1000 m, klesne při stejném výkonu množství obíhající vody na desetinu a tím se zmenší i rozměry nádrží a stavební náklady.

Zcela novou cestu k budování přečerpávacích vodních elektráren hodlá prosadit Japonsko, které má již dnes v provozu desítky PVE s úhrnným výkonem přes 22 000 MW. Na ostrově Okinawa spustilo v roce 1999 první přečerpávací elektrárnu využívající mořskou vodu. Má výkon 30 MW, spád 136 m, hltnost turbíny 26 m³/s. Slaná voda se přečerpává do umělé nádrže vzdá-



První japonská přečerpávací elektrárna na slanou vodu na ostrově Okinawa



Přečerpávací vodní elektrárna Dalešice



Dalešická strojovna

lené 600 m od pobřeží. Její soustrojí, potrubí a uzávěry však budou muset odolávat korozi v důsledku agresivního účinku slané vody. Pokud se experiment zdaří, otevře se přečerpávacím elektrárnám nové uplatnění na mořských pobřežích všech kontinentů.

VI. SUPRAVODIVÉ INDUKČNÍ AKUMULÁTORY

Podnět ke zcela revolučnímu způsobu akumulace elektrické energie dal vlastně nizozemský fyzik **Kammerlingh Onnes** již roku 1911. Ve smyčce ze rtuti vymražené v kapalném heliu indukoval elektrický proud a ten v ní k úžasu přivolaných svědků obíhal bez přerušení hodiny, dny a týdny i poté, co induktor odpojil. Stav, při kterém v látkách prakticky zcela vymizí elektrický odpor, nazvali vědci **supravodivostí**. Onnesův sen o tom, že jednou bude možné elektřinu beze ztrát přenášet po supravodičích, se teprve naplňuje. Supravodivost umíme vyvolat i v řadě kovů, slitin, a dokonce ve speciální keramice už nejen při teplotách kapalného helia, ale i v kapalném dusíku a vodíku. Experimenty s motory a generátory se supravodivým vinutím zdárně pokračují, stejně tak i s téměř bezdrátovým přenosem elektrického proudu po supravodivých kabelech. Zdá se, že supravodivá elektromagnetická akumulace menších

i velkých elektrických výkonů dostane šanci ještě na přelomu našeho tisíciletí.

Zatím bylo realizováno několik menších **supravodivých akumulátorů**, určených k překonání krátkodobých výpadků proudu v závodech na výrobu polovodičů, čipů a filmů, kde i výpadek pouhé desetiný sekundy může způsobit velké škody a ochromit výrobu. První malé supravodivé akumulátory UPS (Uninterruptible Power Supplies) z USA pracují se supravodivou cívkou ponořenou do kapalného helia, která je nabíjena přes usměrňovač. Proud v ní cirkuluje s minimální ztrátou 0,3 kWh za 24 hodin. Už na první hlubší pokles napětí sítě na začátku výpadku reaguje akumulátor během 0,2 mikrosekundy tím, že proud z cívky indukci převede přes kondenzátor do invertoru, který je schopen po překlenovací dobu dodávat neuchoulostivějšímu uzlu tovární sítě výkon kolem 1 MW.

Větší supravodivý akumulátor SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage) o kapacitě 800 Wh stabilizuje spojovací vedení společnosti Bonneville Power v Oregonu (USA). Obstal při několika milionech cyklů nabití-vybití. Doba nabíjení i vybití je extrémně krátká a účinnost lepší než 95 %.

Zveřejněné studie mluví o energetických supravodivých akumulátorech s kapacitou až 4 000 MW, schopných nahradit přečerpá-

vací akumulární elektrárny. Mají mít podobu prstence (případně umístěného v podzemí), v němž je v kapalném heliu ponořena smyčka z tlustého měděného vodiče. Ztráty se započtením příkonu kryogenní stanice udržující helium na teplotě pod minus 269 °C nemají být větší než 1 %!

PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY U NÁS

První přečerpávací vodní elektrárna na našem území vznikla hned v počátcích veřejné elektrizace roku 1930 na Šumavě nedaleko **Hojsovy Stráže**, kde malá přehrada na Úhlavě vytvořila spodní nádrž, odkud se voda přečerpávala do Černého jezera v nadmořské výši 1008 m. Jeho hladina kolísala mezi čerpáním a turbínovým provozem o pouhé 4 cm, takže přírodní ráz jezera ničím neutrpěl. Roku 1960 se s přečerpáváním skončilo, ale strojovna je hájena jako vzácný skanzen!

První velká přečerpávací elektrárna **Štěchovice II** se spádem 220 m a s umělou nádrží o obsahu 500 000 m³ na vrcholku kopce Homole byla uvedena do provozu roku 1947. Používala dvojici třístrojových soustrojí s výkonem po 21 MW. Na svou dobu byla tato naše největší přečerpávací vodní elektrárna plně automatizována a odpadní



Horní nádrž přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně s obsahem 2,7 milionů metrů krychlových vody leží v nadmořské výšce 1350 m

teplo z chlazení bylo využito mj. k ohřívání vody v nedalekém plaveckém bazénu. Až do února 1991, kdy byla pro zastaralost PVE odstavena, vyrobila 1 650 000 MWh převážně špičkové elektrické energie. Vzhledem k vhodnosti místa i použitelnosti horní nádrže a potrubí byla PVE Štěchovice nákladem 0,3 mld. Kč rekonstruována. Obě soustrojí jsou nahrazena jedinou moderní reverzní rychloběžnou turbínou typu FR-180 z ČKD Blansko s oběžným kolem průměru 2,2 m a s hltností 24 m³ vody za sekundu. Motorgenerátor má příkon 50 MW. Soustrojí je uloženo pod zemí v betonovém bloku vysokém jako devítipatrová budova. Turbína dosahuje plný výkon už 100 s po vyslání povelu, provoz řídí moderní digitální systém SIMATIC. Z původních 50 % celková účinnost nového soustrojí vzrostla na 75 %. Ročně vyrobí kolem 25 GWh.

„Česká republika má vhodné přírodní podmínky pro budování přečerpávacích vodních elektráren s denním turbínovým provozem od 3 do 7 hodin....“ konstatovala studie Výzkumného ústavu energetického v Praze z roku 1978, která v době dokončování PVE Dalšice zveřejnila dvacet lokalit, na kterých by bylo možné zejména kvůli dalšímu rozvoji energetiky vybudovat potřebné „sklady“ na vyrovnávání odběrového diagramu. Vybraná místa dále uváděná disponují

celkovým výkonem 12 000 MW a mohla by ročně akumulovat až 20 000 GWh z přečerpávání.

Podle abecedy uvádíme: Bradlo, Býčí Skála, Cukrová Bouda, Český Krumlov II, Hardegg, Hříměždice, Křivoklát-Červený Kámen, Labská, Požár, Raspenava, Rejštejn, Sendráž, Skuhrov, Slavič, Spálov, Světlá hora, Šumný Důl, Vilémov a Žleb. S většinou z nich však ochránci přírody nesouhlasí a k prosazení některých zřejmě dojde až při nezbytnosti jejich výstavby a to nakonec ne kvůli energetice, ale pro zajištění pitné vody.

VÍCEÚČELOVÁ PVE DALEŠICE

Stavbu velké vodní elektrárny plánovali vodohospodáři v romantickém údolí Jihlavy mezi Třebíčí a Ivančicemi již v třicátých letech. Teprve roku 1971 se začaly stavět dvě hráze. Sypaná, s rekordní výškou 104 m jako hlavní, která zadržela jezero se 127 mil. m³ vody, a o sedm kilometrů po proudu menší betonová, s výškou 49 m. Ta vytváří spodní nádrž, z ní se voda přečerpává do horní nádrže čtyřmi turbosoustrojími, poskytujícími při turbínovém provozu užitečný výkon 450 MW. Čerpadlo i turbínu tvoří jediné oběžné kolo o průměru 6 m. Elektrárna je schopná jednu minutu po vyslání impulsu dodávat 450 MW špičkové energie. Provoz je automatizován a z dozorní je ovlá-

dáno i malé Kaplanovo soustrojí o výkonu 1,23 MW v hrázi spodní vyrovnávací nádrže Mohelno. Kromě režimu čerpadlový – turbínový chod mohou turbosoustrojí přispět i ke kompenzaci jalového výkonu, což soustava 400 kV, na kterou je PVE napojena, požaduje. Voda z nádrže zásobuje tříkilometrovým potrubím chladicí věže Jaderné elektrárny Dukovany. Vodohospodáři si pochvalují, že se zásobou vody mohou zavlažovat okolní pozemky o rozloze 10 000 hektarů. V nádržích se dobře daří vysazeným pstruhům a lipanům..

PVE DLOUHÉ STRÁNĚ

Uprostřed Jeseníků, na toku říčky Divoká Desná, se v květnu 1978 začalo s výstavbou naší současné nejvýkonnější PVE. Dolní nádrž je přímo na toku říčky, horní nádrž pro 2,7 milionu m³ vody byla zřízena v nadmořské výšce 1350 m. Podle původního projektu měly spád 536 m využívat čtyři vertikální třístrojové jednotky o celkovém výkonu 600 MW. Stavba se protáhla, ale právě díky tomu mohlo dojít k modernizaci a rozhodnutí použít jen dvou, zato nejmodernějších a nejúčinnějších dvoustrojových jednotek naší výroby, což zvýšilo celkovou kapacitu PVE Dlouhé Stráně na 650 MW. S ohledem na ochranu přírody jsou soustrojí i transformátory zabudovány do dvou podzemních

jeskyň, z nichž strojovna je dlouhá 84 m a vysoká 50 m.

Délka přivaděčů, tunelů a přístupových štol přesahuje 8 km. Francisovy reverzní turbíny FR-10 z ČKD Blansko mají oběžná kola o průměru 453 cm. Elektrický výkon se z podzemní transformovny vyvádí kabely 400 kV zvláštní štolou do rozvodny na povrchu.

Přes nekončící protesty „zelených“ se po odchodu stavbařů ukázalo, že malebný kout Jeseníků utrpěl minimálně. S výjimkou nádrží a komplexu správních budov a zapouzdřené rozvodny je všechno technické zařízení skryto v podzemí. K uvedení do provozu mělo dojít koncem roku 1994, při předkomplexních zkouškách turbogenerátoru však došlo k havárii celého soustrojí (vytrhlo se z betonové šachty vinou mechanické závady), a tak stavba, která přišla na necelých 6 miliard Kč, začala sloužit až s více než ročním zpožděním. Účinnost přečerpávacího cyklu zde dosahuje rekordní hodnoty 76,5 %.

PVE je významným zdrojem špičkové energie pro naši elektrizační soustavu a šetří našemu hospodářství ročně čtvrt miliónu tun uhlí, které by jinak muselo být spáleno v uhelných elektrárnách. Technickou životnost díla odhadují odborníci na 100 let.



Vodní elektrárna Dlouhé Stráně, strojovna





Alternátor ani turbína, která jej pohání, energii nevyrábějí, nýbrž pouze přeměňují tepelnou a tlakovou energii páry v mechanickou energii otáčejícího se rotoru, která se indukci v cívkách statoru mění v elektrický proud

ENERGIE A JEJÍ PŘEMĚNY

Energie tady vždy byla, je a bude. To je jedna z jistot, kterou naštěstí nelze zpochybnit. Energie je nezničitelná, jen se pouze mění její forma z jedné v druhou. Ať se nám to líbí či nikoli, nepřibývá jí ani neubývá. O věcnosti energie v čase a prostoru hovoří fyzikální zákony, věděli o ní i naši učení předkové.

„Ex nihilo nihil fit“, prohlásil před sto-padesáti lety lodní lékař **J. R. Mayer** (1814–1878), který má významný podíl na objevu zákona o zachování energie. Česky to znamená „z ničeho se nic neudělá“ a lidová moudrost to vtělila do dnešního rčení „nula od nuly pojde“. Toto poznání se klubalo na světě už od dob Galileiových a výstižně je upřesnil **M. V. Lomonosov** v dopise adresovaném proslulému matematikovi **L. Eulerovi** z roku 1748: „Všechny v přírodě se vyskytující změny se dějí tak, že kdekoli něco přibude, jinde toliktež ubude. Jest to zákon obecný, takže se vztahuje i na zákony pohybu.“ Pohyb je ovšem projevem energie. Rozhodující znění zákona o zachování energie včetně matematického vyjádření pro vzájemné přeměny energie bylo po staletí trvajícím sporu fyziků s filozofy vyřešeno až 23. čer-

vence 1847 na zasedání Berlínské fyzikální společnosti z úst německého vědce H. Helmholtze (1821–1894): „Jestliže těleso nebo hmotný systém nepodléhá účinkům okolí, pak součet kinetické a potenciální energie částic, z nichž se skládá, zůstává stálý!“

Porovnáte-li mezi sebou zmíněné historické výroky, dospějete k rozhodujícímu a naší generaci již zcela vžitému poznatku: energii nemůžeme získávat z ničeho, energie ale nemůže také nikde záhadně mizet!

Jak často se však proti této pravdě dopouštíme prohřešků v řeči, v tisku, v televizi! Mluvíme o „výrobě energie“ nebo o tom, že vlivem nízké účinnosti spotřebičů se při svých přeměnách část energie ztrácí! To je nejen nepřesné, ale i hluboce nepravdivé!

Energie je, jak se to správně učíme ve fyzice, schopnost konat práci. Má různé formy, takže se projevuje např. jako mecha-

nická energie pohybu nebo polohy, jako teplo či energie zářivá. Za nejuniverzálnější použitelnou a nejčistší formu pokládáme elektřinu. Jako chemickou energii ji nejčastěji uvolňujeme spalováním různých paliv, kdežto štěpením nebo slučováním (tzv. fúzí) atomových jader čerpáme energii jadernou. Z jedné do druhé formy lze energii nejrůznějšími způsoby **přeměňovat**.

Právě tak jako čerpadlo ve vodárně vodu nevyrábí, nýbrž ji jen uvádí do pohybu, nevyrábí generátor v elektrárně energii, nýbrž pouze přeměňuje mechanickou energii otáčejícího se rotoru, poháněného turbínou, v elektrický proud. Nejde tedy o výrobu, nýbrž o přeměnu! Řetězec energetických přeměn probíhá v nejrůznějších podobách kolem nás. Teplo k vytvoření páry pro turbínu v tepelné elektrárně bylo získáno spálením uhlí, které v topeništi

Převodní tabulka jednotek energie

Název jednotky	Značka	Přepočet na jouly	Přepočet na kWh
joule	J	1 J	$2,78 \times 10^{-7}$ kWh
kilowatthodina	kWh	$3,6 \times 10^6$ J	1 kWh
kilokalorie ¹	kcal	$4,19 \times 10^3$ J	$1,16 \times 10^{-3}$ kWh
tuna měrného paliva ²	tmp	$2,93 \times 10^{10}$ J	$8,14 \times 10^3$ kWh
tuna ropného ekvivalentu ³	toe	$4,18 \times 10^{10}$ J	$11,64 \times 10^3$ kWh

Pozn.:

¹ Vyřazena z Mezinárodní soustavy SI, ale stále ještě v praxi přžívá.

² Používá se v energetických bilancích. Jde o množství energie, které se uvolní dokonalým spálením 1 tuny nej kvalitnějšího černého uhlí s výhřevností 29 MJ/kg.

³ Užívá se v energetických bilancích v anglosaské literatuře.

vydalo k ohřevu vody svou chemickou energii. Elektrinu z elektrárny pak ve vaší domácnosti využíváte několika způsoby: ke svícení (žárovky mění elektrickou energii ve světlo tedy v energii zářivou), k vaření či vytápění (přeměna na energii tepelnou), nebo pohání např. elektromotor kuchyňského robotu (přeměna v energii mechanickou).

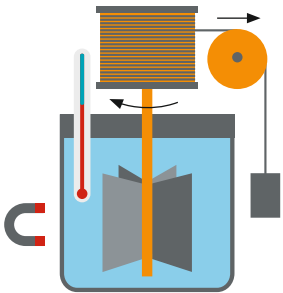
Při každé takové přeměně musí být ve smyslu zákona o zachování energie „účet“ vyrovnan: příjem se musí rovnat výdeji! Není pravdou, že by se přitom část energie někam záhadně ztrácela. Musíme umět hledat, do jaké jiné a obvykle námi nevyužité podoby se „ztracená“ energie proměnila!

O JEDNOTCE SPOJUJÍCÍ RŮZNÉ FORMY ENERGIE

Až do začátku 18. století se učenci domnívali, že mezi mechanickou prací, teplem a elektrinou neexistuje žádná souvislost. Teprve **Benjamin Thompson** (1754–1814), známý ve fyzice spíše jako **lord Rumford**, si jako první blíže všimnul souvislostí mezi teplem a mechanickou prací. V továrně kde vrtali hlavně děl se snažil změřit, jak se mechanickou prací vrtáku kov ohřívá. Rozhodující a mnohem přesnější pokusy prováděl kolem roku 1845 inženýr a pivo-

varník **J. P. Joule**. Do izolované nádoby s vodou, jejíž teplotu měřil teploměrem, vložil pístovou pumpu, zakončenou baňkou. Ta se teplem vznikajícím při stlačování zahřívala a teplo předávala vodě. Joule zjistil, že libra vody se ohřála o 1° Fahrenheita, když „pumpoval“ na rameni dlouhém jednu stopu silou 7,7 liber.

Ještě názornější byl jeho další pokus s vrtulkou, otáčející se v dobře izolované nádobce s vodou. Teploměr měřil, oč se voda vířením zahřála. Zahřátí bylo intenzivnější, když ke kovové vrtulce přiblížil silný magnet. Joule správně usoudil, že toto teplo navíc bylo získáno elektromagnetickým brzděním. Později pak zahříval vodu elektrickým odporem drátů, tak jak to dnes děláme pomocí ponorných elektrických vařičů. Díky dalším nápaditým pokusům porovnával tehdy nejběžnější formy energie a prokázal i propočítal jejich souvislost. Fyzika dostala jeho zásluhou jednak **mechanický ekvivalent tepla**, jednak **tepelný ekvivalent mechanické práce**, jak je Joule pojmenoval ve své knize **„O porovnatelném výkonu elektromagnetismu, páry, jakožto pohonných zdrojů“**. Nyní již bude čtenáři jasné, proč můžeme zdánlivě výrazně odlišné formy energie měřit společnou jednotkou **joule (J)**.



Rozhodující Jouleův pokus s vrtulkou poháněnou závažími, která mu umožnila stanovit tepelný ekvivalent mechanické práce

Pro praxi je jednotka 1 joule příliš malá. S takovou energií lze např. zdvihnout kilogram jen do výše 10 cm, ohřát kapku vody o jediný °C, nebo bliknout žárovkou kapesní svítilny. Jen při vzplanutí zápalky škrtnutím o krabičku se už uvolní okolo 1000 J. Spálením většího kousku **uhlí** v kamnech se v podobě tepla uvolní kolem dvou milionů joulů (2 MJ). Ale teprve 3,6 MJ se rovnají nejužívanější jednotce pro měření energie v technické praxi – jedné **kilowatthodině (kWh)**!

KOLOBĚH ENERGIE

Prapůvod veškeré energie, která nám v nej-různějších podobách slouží, musíme hledat v našem Slunci, které ji samo čerpá z jaderných reakcí sluneční hmoty. Jeho záření umožňuje a hluboce ovlivňuje náš život na Zemi jejím ohříváním a fotosyntézou, která je základem tzv. potravinového řetězce.

Nerovnoměrným zahříváním pevniny a oceánů udržuje vítr a koloběh vody. Tyto živly, které se naučili primitivně využívat již naši dávní předkové, dnes zařazujeme mezi tzv. **věčně se obnovující zdroje energie**. Slunci vděčíme za to, že v průběhu milionů let se v zemské kůře nashromáždily zásoby tzv. fosilních paliv: uhlí, ropy a zemního



S výjimkou elektřiny z vodních elektráren se primární energie obvykle nehodí k přímé spotřebě

plynu. Jejich těžba a spalování dnes „živí“ světovou energetiku téměř z 90 %!

Energii z těchto přírodních zdrojů označujeme jako energii primární (někdy též prvotní). Zopakujme si, že jde o uhlí, ropu, zemní plyn a také dřevo, které hrálo dominantní roli v uplynulých staletích a dodnes zůstává základním zdrojem energie v mnoha rozvojových zemích. Počítáme k ní i uran, z něhož se naučila čerpat energii v jaderných reaktorech až naše generace. Kvůli úplnosti v bilancování zdrojů energie jako primární energii zařazují energetici i elektřinu z vodních elektráren.

Zejména přírodní fosilní paliva se nehodí (s výjimkou zemního plynu) k přímé spotřebě. Proto se obvykle hned u zdrojů upravují a koncentrují tak, aby se daly snadněji a levněji přepravovat ke spotřebitelům, skladovat do zásoby a rozvádět podle jejich potřeb. Takto upravenou, převážně již čistší energii nebo její nositele označujeme jako energii sekundární nebo též **spotřební**.

Za nejčistší a nejvšestranněji použitelnou formu je pokládána **elektřina**, kterou obvykle prostřednictvím rozvodné sítě dodávají elektrárny tepelné, jaderné a vodní. Dále to jsou **motorová paliva** (benzin, motorová nafta, letecký petrolej),

jejichž největším spotřebitelem je doprava. K vytápění a jako zdroj průmyslového tepla slouží vedle **topných olejů a zemního plynu i uhlí**. Na rozdíl od málo kvalitního energetického uhlí, které spalují uhelné velkoelektrárny, je uhlí pro malospotřebitele tříděné nebo briketované. Pro ekologické využití se stále častěji zplyňuje.

Přeměna primární energie na sekundární probíhá, bohužel, převážně tepelnými procesy, a to, jak uslyšíme dále, je spojeno s nízkou účinností takových přeměn. Pro lepší představu: podle současné bilance v České republice ze spotřebovávaných primárních zdrojů při přeměnách, zušlechťování a dopravě a také následkem nízké účinnosti zastaralých spotřebičů a v důsledku plýtvání opravdu účinně využíváme pouhou jednu pětinu energie!

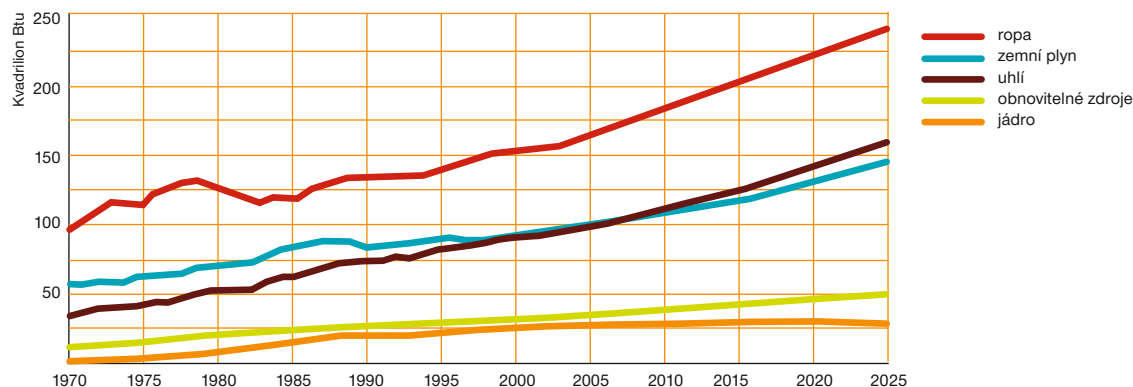
Volba správných výchozích forem primární energie i konečných forem, v jakých ji využíváme, rozhoduje o efektivnosti národního hospodářství té které země. Energetika se však už dávno stejně stala globálním problémem. Jejím dominujícím úkolem je zajistit dostatek energie pro rychle přibývajícím populaci, jejíž nároky na spotřebu energie s pokrokem civilizace značně narůstají. Zdroje primární energie se však rychle vyčerpávají.

ZAJÍMAVÁ ČÍSLA O SVĚTOVÉ ENERGETICE

- Odhaduje se, že od doby svého „polidštění“ až do počátku atomového věku (1950) spotřebovalo lidstvo globálně k dosažení dnešní civilizační a technické úrovně úhrnem pět tisíc bilionů kilowatthodin energie, tedy: 5 000 000 000 000 000 kWh.
- Roční spotřeba primární energie v době, kdy pračlověk ovládl oheň, se pohybovala okolo 6 GJ. V USA loni tato spotřeba překonala 400 GJ, ale v chudých rozvojových zemích je průměrně desetkrát nižší.
- Současná celosvětová spotřeba primární energie ze všech zdrojů, které má naše planeta k dispozici, je okolo 14 miliard tun měrného paliva (viz převodovou tabulku jednotek), neboli 410 EJ (exajoulů). Na jejím krytí se bude podílet z 31 % uhlí, 37 % pokryje ropa a 21 % zemní plyn. Na věčně se obnovující vodní energii a elektřinu „z jádra“ (což je populární název pro elektřinu z jaderných elektráren) připadne zbývajících 11 %.

O ÚČINNOSTI PŘEMĚN ENERGIE

Již v úvodu jsme na příkladu uhelné elektrárny a obvyklého využívání elektřiny



Světová spotřeba primární energie podle typu paliva (1970–2025)

v domácnosti naznačili, jakými kombinacemi přeměn musí projít energie čerpaná z primárních zdrojů, než se promění např. v teplo, světlo nebo v pohonnou sílu. Při každé dílčí přeměně v tomto koloběhu dochází k menšímu či většímu úniku energie. Stroje a zařízení, v kterých tyto přeměny probíhají, totiž nepracují ideálně, beze ztrát. Musejí překonávat nejrůznější odpory, uniká z nich teplo apod. Proto do nich musíme přivádět více energie, než nám jí v jiné požadované formě odevzdávají.

Poměr mezi energií, kterou stroj nebo zařízení odevzdávají (tzv. výkonem), a energií přiváděnou (tzv. příkonem) se nazývá **účinnost přeměny**. Označuje se řeckým písmenem η (éta) a je zvykem ji udávat v procentech:

$$\eta = \text{výkon} / \text{příkon} \times 100 \text{ (v \%)}$$

Účinnost je vždy nižší než 100 %, avšak u jednotlivých druhů přeměn se výrazně liší. Poměrně příznivou účinností (95 % i více) jsou charakterizovány přeměny elektrické energie v mechanickou práci a naopak. Horší je to s přeměnou tepla v mechanickou práci, která je základem činnosti všech tepelných motorů. Z příčin,

které si objasníme později, se pohybuje jen mezi 30 až 40 %. Běžná elektrická žárovka navzdory svému stoletému vývoji mění elektřinu na světlo s účinností sotva 10 %. Základní životní proces přírody – **fotosyntéza** – mění dopadající zářivou sluneční energii v chemickou energii vznikajících organických látek dokonce jen s účinností pod 1 %. Přesto nám stačil za stamiliony let vytvořit v tenké slupce zemského pláště zásoby uhlí, ropy a zemního plynu, o něž se opírá větší část dnešní energetiky.

Přeměny energie na sebe navzájem navazují. Proto si ještě musíme uvědomit, že celková účinnost řetězce přeměn od primárních zdrojů až po její praktickou spotřebu je dána **násobkem** dílčích účinností. Z tohoto důvodu má energetika přednostní zájem o principy **přímé přeměny**, které dokáží primární energii převést nejjednodušeji a s nejpříznivější účinností v energii spotřební.

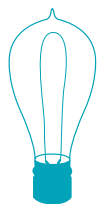
Boj o zlepšování účinnosti energetických zařízení (elektráren, transformátorů, motorů, spotřebičů všeho druhu) patří k prvořadým úkolům dnešní energetiky, stejně tak jako snižování ztrátových přeměn při jejím přenosu či transportu nosičů.

ŠACHOVNICE ENERGETICKÝCH PŘEMĚN

Fyzikální, chemické i jaderné procesy, kterými se uskutečňují přeměny jednoho druhu energie v energii jinou, znázorňuje šachovnicová tabulka. V šesti řádcích jsou postupně uvedeny základní formy energie, které do přeměny vstupují (energie mechanická, tepelná, elektrická, zářivá, chemická a jaderná). Ve stejném pořadí jsou pak nadepsány šesti sloupcům jako energie z přeměny vystupující. V místech, kde se řádky a sloupce protínají, vzniká 36 políček charakterizujících základní typy přeměn energie.

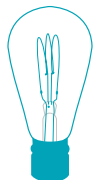
Jen dvacet těchto procesů však energetika „ve velkém“ nebo v „malém“ běžně používá: ty jsou zvýrazněny žlutým podtiskem. Mnohé ze zbývajících kombinací jsou zatím ověřovány při pokusech v laboratořích např. přeměny 1–4, 2–3, 5–4, 5–6, 6–3. Téměř jistotou budoucnost mají přeměny, které se budou odehrávat v termojaderných reaktorech, na jejichž vývoji se pracuje bezmála padesát let (2–6, nebo 4–6). Nejméně dva procesy jsou dosud nepoznané: přeměna jaderné energie v chemickou a obráceně (5–6, 6–5).

Nejvyšší, prakticky až 100% účinnost přeměny vykazují srážky částic a antičástic



1882

první žárovka s uhlíkovým vláknem
1300 lm = 765 W
životnost 600 hodin



1910

žárovka s vláknem wolframovým
1300 lm = 130 W
životnost 1000 hodin



1935

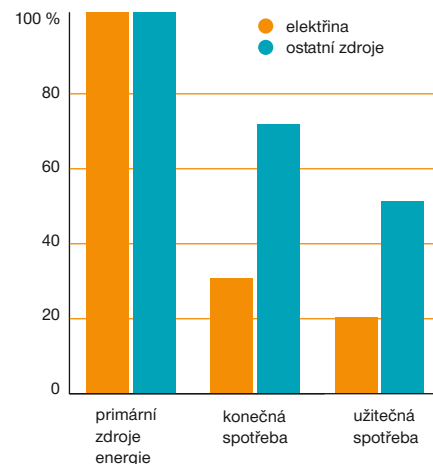
žárovka se spirálou z wolframu 1300 lm = 100 W
životnost 1000 hodin



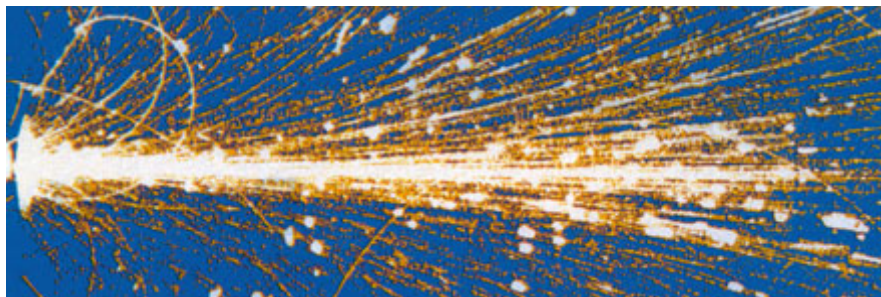
1955

superkompaktní zářivka
1300 lm = 20 W
životnost 10 000 hodin

Jak se měnila účinnost elektrických světelných zdrojů v průběhu staletí



Zatímco u ostatních energií se ke konečné spotřebě dostává u nás 68 %, z níž skutečně využijeme asi 50 %, u elektřiny v důsledku nízké účinnosti tepelných elektráren se z primární energie v energii sekundární promění jen 30 % a prakticky pak využíváme jen dvacetí procent!



Anihilaci lze zaznamenat např. v bublinkové komoře, která zobrazuje výsledky srážek vysokoenergetických částic z urychlovačů

(kosmických nebo získaných v urychlovačích), při nichž částice zcela zanikají a vzniká záření (1–4).

Spíše jako kuriozitu přírody pak chápeme téměř stoprocentní účinnost přeměny mechanické energie v elektrickou, jak to dokáží tzv. piezokrystaly (1–3). Prostým stlačením vzniká na jejich protilehlých ploškách elektrický potenciál, schopný konat práci, bohužel jen „v malém“: vydá jiskru v piezoelektrickém zapalovači, nebo slaboučký elektrický signál v krystalové přenosce gramofonu.

O problémech některých přeměn a možnostech zlepšení jejich účinnosti, i na první

pohled kuriózním údaji o 160 % účinnosti u tzv. **tepelných čerpadel** (1–2), vypovídá šachovnicová tabulka a další odstavce.

MECHANICKÁ ENERGIE

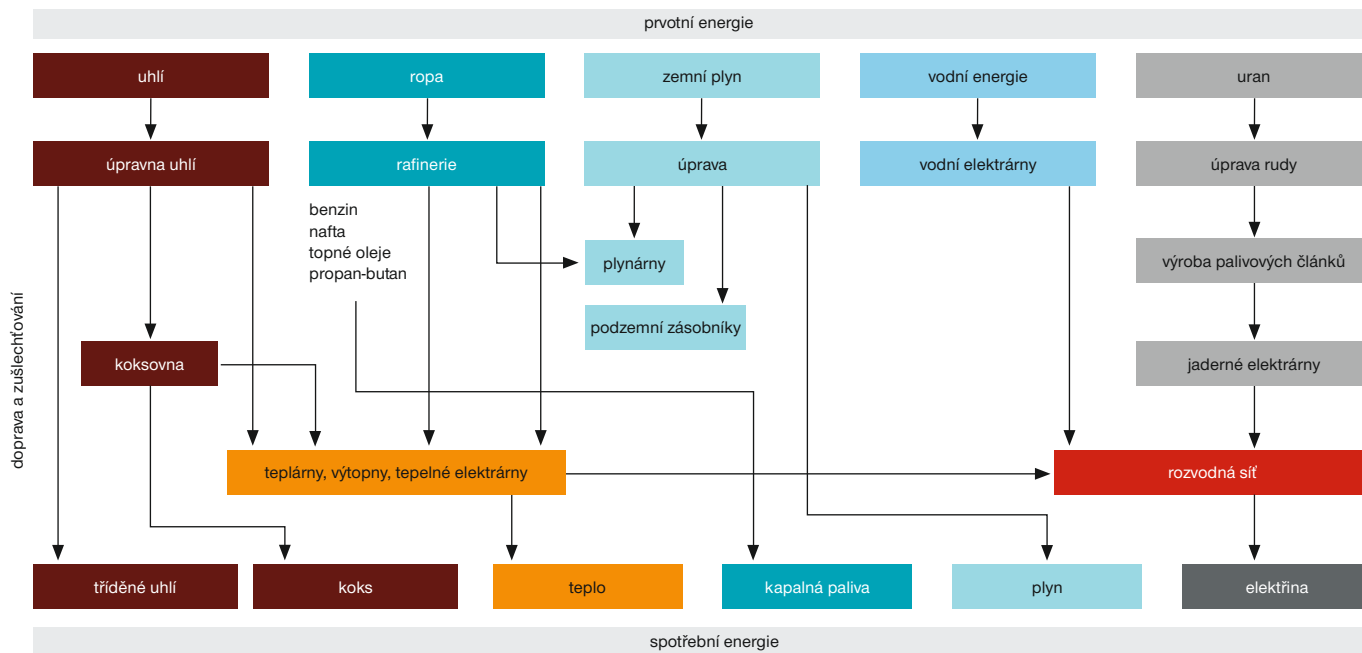
Zdvihneme-li do výšky kladivo, nebo z rovnovážné polohy vychýlíme kyvadlo hodin, nebo načerpáme-li vodu do výše položené nádrže, dáme jim schopnost pracovat ve fázi návratu do původní polohy. Fyzik to formuluje tak, že zdvižením v tíhovém poli Země získává každé těleso tzv. **potenciální energii** W_{pot} . Ta může mít ve světě techniky i jinou podobu, např. stlačeného

vzduchu nebo jiného média pod určitým tlakem. Patří sem i energie elastická, jakou získá např. pružina svým stlačením či natažením.

Uvolníme-li kyvadlo, stlačenou pružinu nebo uzávěr vodou naplněné hráze, dají se tělesa i tekutiny do pohybu. Jejich potenciální energie se před naším zrakem mění v **energii pohybovou** neboli **kinetickou** (W_{kin}). Známy školní pokus s kyvadlem názorně ukazuje, že u dané soustavy těles se součet potenciální a kinetické energie nemění, jak to popisuje vzorec

$$W_{\text{pot}} + W_{\text{kin}} = \text{konst.}$$

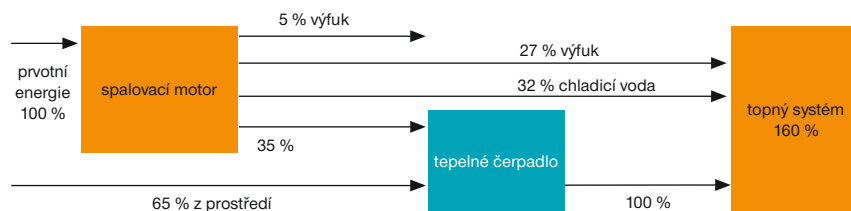
ENERGIE VYSTUPUJÍCÍ						
	1 Mechanická	2 Tepelná	3 Elektrická	4 Zářivá	5 Chemická	6 Jaderná
1 Mechanická	1 → 1 30–95 % převody, vodní turbíny, větrná kola	1 → 2 až 160 % tepelná čerpadla	1 → 3 98 % elektrické generátory, alternátory 100 % piezoelektrický jev	1 → 4 triboluminiscence, brzdné zařízení	1 → 5 mechanochemické procesy	1 → 6 až 100 % srážky atomových jader
2 Tepelná	2 → 1 30–50 % tepelné + spalovací motory	2 → 2 90 % tepelné výměníky + radiátory	2 → 3 50 % MHD – generátory, termoelektrické + termoemisní články	2 → 4 tepelné zářiče	2 → 5 endotermické reakce	2 → 6 termojaderné reaktory
3 Elektrická	3 → 1 90–98 % elektromotory magnetostrikce	3 → 2 95 % elektrická topidla termoelektrické chlazení	3 → 3 až 98 % transformátory, usměrňovače, invertory, tranzistory	3 → 4 10 % žárovky 50 % výbojky	3 → 5 90 % akumulátory, elektrolýza	3 → 6 50 % urychlovače částic
4 Zářivá	4 → 1 tlak záření	4 → 2 60–90 % solární kolektory mikrovlnný ohřev	4 → 3 10–16 % solární články, fotovoltaické elektrárny	4 → 4 1–20 % lasery fluorescence	4 → 5 1 % fotosyntéza	4 → 6 laserová fúze
5 Chemická	5 → 1 10–25 % svalová energie	5 → 2 70–95 % spalování, exotermické reakce	5 → 3 60–80 % elektrochemické + palivové články	5 → 4 chemoluminiscence	5 → 5 chemické reakce	5 → 6 chemonukleární procesy
6 Jaderná	6 → 1 štěpení jader	6 → 2 jaderný reaktor	6 → 3 radioizotopové baterie	6 → 4 radioaktivní rozpad	6 → 5 chemonukleární procesy	6 → 6 jaderné reakce



Cesty energie ke spotřebitelům

Důležitost tohoto poznatku vzrostla, když se prokázalo, že platí nejen pro velká tělesa, ale i pro jejich nepatrné částice, např. molekuly, jejichž pohyb je podstatou tepla. Tím jsme poznali, kam se vlastně „ztrácí“ energie pohybujících se těles vlivem tření nebo odporu vzduchu: část se jí přemění ve zrychlený tepelný pohyb molekul tělesa – tedy ve formu **tepla**.

Kinetické energie větru a tekoucí vody využívá lidstvo od pradávna. Účinnost větrných motorů (větrných kol a turbín) zaostala na 20 až 30 %, kdežto účinnost vodních turbín se podařilo zlepšit až na obvyklých 80 %. Na mechanické energii a motorickém výkonu stojí veškeré strojírenství a mechanizace. Pracovní stroje, jeřáby, lisy, obráběcí stroje, čerpadla, kompresory aj. jsou vlastně **měníče mechanické energie**. Stroje a zařízení obvykle musejí ve svých mechanis-



Vysvětlení záhady 160 % účinnosti tepelného čerpadla

mech měnit otáčky a krouticí moment, což je záležitostí mechanických, hydrostatických nebo hydrodynamických či pneumatických převodů, přenášejících výkon poháněcího stroje (motoru) na pracovní nástroje či mechanismy s průměrnou účinností od 50 do 95 %.

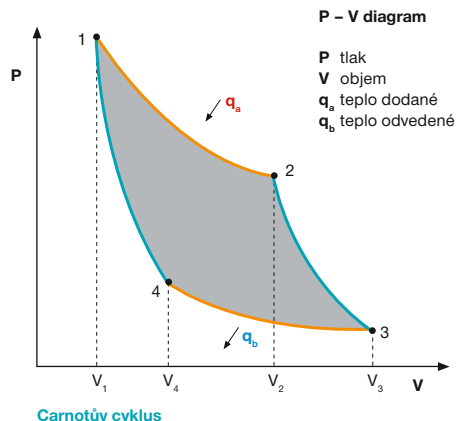
Generátory a alternátory (1–3) mění mechanickou energii na hřídeli poháněcího

stroje v elektřinu s vynikající účinností až 98 % a jejich jednotkové výkony na začátku století díky použití supravodivého vinutí přesáhnou hranici 2000 MW.

Kuriózním zařízením v řádku přeměn mechanické energie na teplo (1–2) jsou bezesporu tepelná čerpadla, vykazující praktickou účinnost až 160 % tím, že přečerpávají teplo z chladnějšího prostředí



Sadi Carnot

Tepelná energie se mění na mechanickou.
Turbína se rotočí.

na teplejší. Nikoliv však v rozporu s druhou větou termodynamickou, ale tím, že odčerpávají např. z říční vody, z ovzduší, z půdy či z teplejších odpadních vod tzv. **nízkopotenciální teplo**. Obvykle stlačením pomocného média ho převedou na tzv. **teplo vysokopotenciální**, které pak lze využít například k vytápění. Okruh je uváděn v činnost buď elektricky poháněným kompresorem, nebo spalovacím motorem. Zjednodušený diagram energetické bilance moderního tepelného čerpadla poháněného pomaluběžným dieselovým motorem ukazuje, jak odčerpáním z okolního prostředí a využitím odpadní energie z výfuku a chlazení motoru lze ze 100 % spotřebované primární energie (paliva pro diesel) získat pro vytápění až 160 %! Takovou „lest“ proti přírodě dovolují zatím menší jednotky o výkonech od 50 do 500 kW.

PROBLÉMY S VYUŽÍVÁNÍM TEPLA

Teplem zde budeme nazývat tu energii, která přejde samovolně při vzájemném styku dvou těles z tělesa teplejšího (neboli s vyšší teplotou) na těleso chladnější. Teplo stále hraje i v současné energetice nejvýznamnější roli, a je její oporou. S výjimkou palivových člán-

ků, dosud ne příliš využívaných, je to právě teplo, které jako médium umožňuje využít chemickou energii spalovaných paliv. Teplo slouží buď přímo k vytápění, nebo v důležitých průmyslových procesech (např. ve výrobě železa a oceli). Uplatňuje se i v tepelných motorech, kde ho měníme na mechanickou práci sloužící k pohonu nejrůznějších strojů a dopravních prostředků. I v komerčních jaderných elektrárnách slouží jaderná reakce jen k ohřívání pracovní látky, a ta pak předává pomocí obyčejného tepelného motoru získané teplo do chladného prostředí a mění ho tím – částečně – na práci.

Se zjednodušením, za které se předem omlouváme fyzikům, se pokusme vysvětlit, proč tento nejužívanější způsob, o který se opírá energetika, probíhá s poměrně nízkou účinností. Potřebujeme-li získat mechanickou práci z tepla, což je základním principem všech druhů tepelných motorů (parními stroji počínaje, turbínami, spalovacími motory a jadernými elektrárnami konče), je nutné vytvořit určitý tepelný spád. Přírodě se tento postup kupodivu zalíbil a také většinu jiných energií ráda přeměňuje na zahřátí (například třením a odpory) – bohužel zpravidla něčeho, co zahřívát nepotřebujeme, třeba ložisek. Teplá tělesa se samovolně ochlazují při styku s chladnými tělesy, a ty

se zase přitom oteplují. To by mohlo postupně vyrovnat rozdíl teplot a tepelný spád by zmizel. Někteří filozofové z toho v předminulém století dospěli k pochmurným úvahám o tepelné smrti vesmíru. Na naší planetě se tepelné smrti bát nemusíme, protože nám neustále dodává energii naše Slunce – stále nás ohřívá, zatímco my své teplo vyzařujeme do okolního mrazivého vesmíru.

Měníme-li teplo v práci v periodicky pracujícím tepelném stroji (motoru), pak z určitého množství Q_2 tepla odebraného z teplejšího tělesa (s teplotou T_2), o kterém technici mluví jako o ohříváku, je část Q_1 předána tělesu chladnějšímu – chladiči s teplotou T_1 . Zbytek tepla ($Q_2 - Q_1$) může být přeměněn v užitečnou práci. Jak velká to je část, to záleží na rozdílu teplot obou těles, označovaných ve fyzice „lázně“. V nejlepší případě, v tzv. vratném Carnotově cyklu, je účinnost η tepelné přeměny dána vzorcem:

$$\eta = (Q_2 - Q_1) / Q_2$$

$$\eta = (T_2 - T_1) / T_2$$

kde teploty T_1 i T_2 měříme v kelvinech K, tedy pracujeme s hodnotami o 273,15 většími, než je údaj ve stupních Celsia.

Maturantovi bude jasné, že pro stoprocentní účinnost by musela být teplota T_1



Demonstrační fotovoltaická elektrárna v areálu Jaderné elektrárny Dukovany

chladiče rovna 0 K, absolutní nule, tedy nedostupné hodnotě $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. V praxi zpravidla chladíme „pokojovou teplotou“, tedy něčím v okolí $T_1 = 300\text{ K}$. Účinnost však můžeme zlepšovat zvyšováním vstupní teploty T_2 – samozřejmě jen po hranici, jakou teplotu dosáhneme nebo máme k dispozici, a kam až to vydrží použité materiály zařízení. Nejmodernější parní turbíny pracují s teplotou páry nejvýše $640\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy něco přes 900 K , a jejich účinnost proto při sebedokonalejším provedení by nemohla překročit 67 %. Lopatky spalovacích turbín s keramickým nástřikem a dutinovým chlazením odolávají dlouhodobě až $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$, tedy asi $1\,300\text{ K}$; tam je tedy teoretický strop 77 % – obojí ovšem jen s naprosto ideálním, vratným strojem, který je v praxi zdaleka nedosažitelný. (Mimo jiné by musel pracovat nekonečně pomalu, aby mohl být vratný.) To je příčinou oné zarážející nízké účinnosti tepelných motorů, která se jak u pístových motorů, tak u parních turbín v praxi pohybuje v rozmezí od 30 do 40 % a jen v případě předřazení spalovací turbíny parní turbíně v tzv. paroplynovém cyklu překročí o málo 50 %! Takové účinnosti dosahují i vyvíjené magnetohydrodynamické generátory (MHD), využívající energie proudících žhavých a elektricky vodivých spal-

(horkého plazmatu) k indukci stejnosměrného proudu ve vinutí cívek zabudovaných do stěn žáruvzdorného kanálu. Úspěšná přímá přeměna MHD stroji, bez mezistupně univerzálního tepelného motoru, by účinnost výrazně pozvedla.

ELEKTRICKÁ ENERGIE

Je pro svou čistotu, univerzálnost, možnost přenosu na dálku a snadný rozvod nejužívanější sekundární energií. Její podstatou je tok volných **elektronů** při vodivém spojení míst s rozdílným elektrickým potenciálem. V mechanickou práci (3–1) ji mění nejrůznější typy elektromotorů s účinnostmi kolem 90 až 98 %, která klesá jen při starších způsobech regulace otáček a rozběhu pomocí odporů. Nejmodernější regulační elektropohony řízené změnou kmitočtu a napětí v tyristorových měničích dokáží s minimální ztrátou plynule regulovat otáčky a odpadá použití převodových skříní a mechanismů. S vysokou účinností pracují i transformátory, invertory a křemíkové usměrňovače (3–3), které upravují napětí s průmyslovým kmitočtem (u nás 50 Hz) podle potřeby na jiné napětí, jiný kmitočet, nebo napětí usměrňují. Nižší účinnosti se vyznačuje jen přeměna energie na světlo (3–4). Tato zářivá energie

má leccos společného s energií elektrickou (jde o elektromagnetické vlny), jenže jejím nositelem nejsou elektrony, nýbrž neutrální částice zvané fotony.

Elektrická energie má jen jeden podstatný nedostatek: nedá se skladovat do zásoby!

ZÁŘIVÁ ENERGIE

Projevuje se jako elektromagnetické vlny nejrůznějších vlnových délek od centimetrových mikrovln přes infračervené, viditelné a ultrafialové záření až po tvrdé záření kosmické. Podle energetického a biologického účinku je využíváme k nejrůznějším účelům. Sluneční záření, které na naši planetu přenáší životodárnou energii (na osvětlený m^2 dopadá výkon přibližně 1 kW), dokáže s příznivou účinností 60–90 % přímo využít zejména **solární tepelné kolektory**. Slouží k ohřívání užitkové vody, vyhřívání bazénů nebo k ohřívání vzduchu v sušárnách dřeva a píce. Naproti tomu solární fotovoltaické články, obvykle v podobě panelů na křemíkové bázi, dosahují jen ve špičkových výrobcích (například pro napájení družic elektřinou) účinnosti blízké se k 30 %. Praktická účinnost je ale poloviční, a proto různé prestižní programy, jako např. „Sto tisíc solárních střech“, jak v Německu,



Přeměnu zářivé energie na chemickou – fotosyntézu – zvládají zelené rostliny



Dnes je lidstvo energeticky závislé na přeměně chemické energie obsažené ve fosilních palivech na energii tepelnou

tak v Japonsku zcela zklamaly. V laboratoři se již podařilo dosáhnout účinnosti 40,7 % u třívrstvých článků, kde každá vrstva je citlivá na jiné spektrum záření.

Zvláštním případem využití zářivé energie jsou lasery, vynalezené roku 1960. Jsou založeny na tzv. stimulované emisi kvantových přeskoků elektronů v nejrůznějších látkách. Nejvíce jsou rozšířeny lasery rubínové, polovodičové a plynové, avšak jak se ukázalo, k „laserování“ lze využít i nejrůznější jiné materiály a formy energie. Paprsek fotonů, které laser vysílá plynule nebo v pulzech, dokáže energii mimořádně zkoncentrovat a dá se přesně ovládat. Stává se neopotřebitelným a nejuniverzálněji použitelným nástrojem technologů (řeže, propaluje nebo svařuje i nejtvrdší materiály), chirurgům nahrazuje skalpel, dokáže přenášet nesmírná kvanta informací (optické spoje).

CHEMICKÁ ENERGIE

Hraje v našem životě i v energetice rozhodující úlohu. Využíváme ji formou spalování fosilních paliv, vzniklých před miliony let zakonzervováním pod povrchem naší planety. Vytěžená a upravená či zušlechťená paliva lze dobře skladovat. Ropa i zemní plyn se

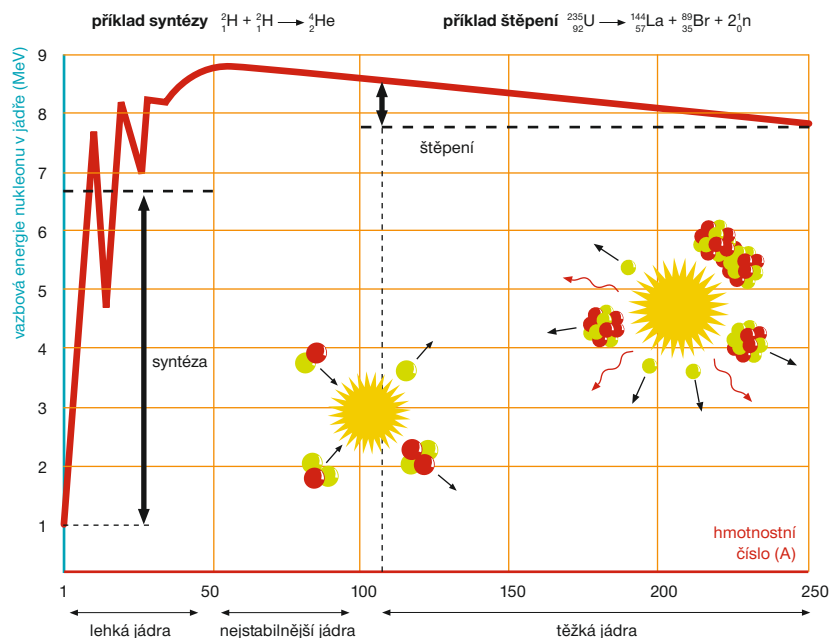
dá snadno a levně přepravovat ve velkém i na dálku potrubím. Přes mnohaletou snahu techniků a energetiků o dokonalejší a účinnější spalování není však tento proces náležitě „čistý“ a zplodiny hoření, prachový úlet a exhalace narušují biosféru. V principu se chemická energie uvolňuje na úkor vazeb atomů a molekul spalovaných látek. V nejrozšířenějším případě (spalování uhlí a uhlovodíkových paliv) probíhá spalování zjednodušeně tak, že zahřátím rozkmitané atomy uhlíku C srážkami s molekulami vzdušného kyslíku O_2 splynou svými elektronovými obaly. Energetický stav hladin elektronů ve vzniklé molekule oxidu uhličitěho CO_2 je snížen a uvolněnou energii roznášejí do okolí zrozené **fotony**. Tato chemická reakce se přenáší určitou rychlostí, závisející na podmínkách spalování, na další atomy a molekuly paliva i kyslíku. Triliony fotonů unikajících z hořícího paliva, například na roštu topeniště, předávají svoji energii všude tam, kam dopadnou. Rozkmitají například živěji atomy kovové stěny kotle. Ty předají tepelné kmity molekulám vody uvnitř a voda se uvede do varu. Nárazy miliard kapiček vodní páry na lopatky turbíny v elektrárně nebo na píst parní lokomotivy uvedou tyto stroje do pohybu. Zůstaňme u lokomotivy. Když brzdí, mění se její kinetické energie

odvozená původně z tepla uvolněného spáleným uhlím opět v tepelný pohyb molekul a atomů kovu, z něhož jsou vyrobeny brzdové špalky, kola i kolejnice. Lokomotiva zastaví a neuspořádaný pohyb molekul (teplo) vychládajícího kovu se přenáší na okolní vzduch a vrací se tak do přírody. A to byl jen jediný úzce vybraný pohled na koloběh fotonů a energie kolem nás!

Ke spalování ovšem může dojít i bez ohně a plamenů. V tzv. elektrochemických palivových článcích (5–3) je možné místo přímého přeskoků z vyšších energetických hladin na nižší nechat elektrony proběhnout vnějším okruhem, v němž je zapojen elektrospotřebič. Proud elektronů v okruhu vodičů není nic jiného než elektrický proud, který zde byl získán přímou přeměnou energie – a za studena!

TŘI CESTY K JADERNÉ ENERGII

Při hoření a jiných chemických reakcích si vlastně jen „vypůjčujeme“ energii z pohybu poměrně lehoučkových elektronů v obalech reagujících prvků. Milionkrát víc pohybu (a tedy i energie) odhalil **Albert Einstein** (1879–1955) uvnitř atomů v jejich jádrech. Ve své teorii relativity dospěl k názoru, že **hmotnost** je vždy a všude spjata s energií.



Nukleony v jádře jsou vázány jadernými silami. Vazbová energie na jeden nukleon je v průměru přibližně 8 MeV, ale liší se podle počtu nukleonů v jádře.

Vazbová energie E_v je rovna práci, kterou musíme vykonat k rozložení jádra na jednotlivé nukleony. Roste od nuly do maxima 8,8 MeV, které je v oblasti jader kolem $A=60$ (^{56}Fe , ^{62}Ni) a pak pomalu klesá k 7,6 MeV pro uran ^{238}U .

Z grafu závislosti vazbové energie na počtu nukleonů v jádře je názorně vidět možnost získání energie z atomového jádra. Jestliže těžké jádro rozštěpíme na dvě lehčí, uvolní se energie asi 0,9 MeV/nukleon. Mnohem více energie se uvolní při sloučení dvou jader lehkých. Např. vazbová energie jádra atomu deuteria je 2,22 MeV, vazbová energie jádra helia je 28 MeV. Při sloučení dvou jader deuteria se získá energie přibližně 6 MeV/nukleon.

Usoudil, že hmota je v ustavičném vnitřním pohybu, jehož prostředníky jsou síly gravitační, elektromagnetické a silné a slabé jaderné interakce. Zároveň vypočetl, že každý kilogram hmoty v sobě může skrývat **25 miliard kilowatthodin** energie! Toto později potvrzené a pro nás až neuvěřitelné množství energie je skryto jak v kilogramu vody, tak v kilogramu chleba, železa nebo uranu. Teprve uprostřed druhé světové války se využitím objevu **štěpení uranu** podařilo alespoň zlomek této energie z uranu a krátce poté i z plutonia prakticky uvolnit: poprvé v pokusném jaderném reaktoru, později bohužel v atomové pumě.

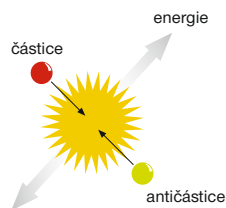
Proč právě jen z těchto prvků, přesněji z izotopů ^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu a ^{241}Pu ? Jejich jádra vynikají nízkou vazbovou energií velkého počtu protonů a neutronů, z nichž jsou složena. Po zásahu zpomaleným neutronem se rozštěpí na jádra prvků středně těžkých (např. baryum-krypton nebo xenon-stron-

cium), mající vyšší vazbovou energii. Tento rozdíl vazbových energií, odpovídající rozdílu klidových hmotností původních a výsledných produktů reakce, se pak projeví podle Einsteinova vztahu jako uvolněná jaderná energie. Kromě toho se při štěpení uvolňují dva až tři nové neutrony, které po zpomalení moderátorem mohou vyvolávat další štěpení. Nastává tzv. řetězová reakce.

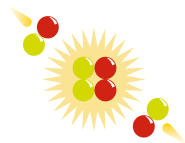
Prakticky se při štěpení jader kilogramu uranu nebo plutonia uvolní přibližně třímilionkrát více energie než z kilogramu spalného uhlí. Zdá se to být skvělé v porovnání s výnosem chemických reakcí, avšak srovnáním s již dříve zmíněnými 25 miliardami kWh skrytými v 1 kg každé hmoty to je jen pouhá tisícina, nebo chcete-li jedna desetina procenta. To je také důvod, proč v tabulce přeměn energie účinnost pro jaderné procesy raději neuvádíme a ponecháváme ji jen v procesech „nejaderných“ přeměn. V diagramu zobrazujícím průběh

vazbové energie vztažené na jeden nukleon u prvků periodické soustavy, seřazených podle atomové hmotnosti, si jistě všimnete, že existuje ještě jeden výraznější „spád“ slibující uvolnění jaderné energie, a to na straně nejlehčích prvků například mezi vodíkem a heliem. K takovému slučování neboli **fúzi** jader dochází působením obrovských tlaků a teplot v nitru našeho Slunce. Při **termojaderné fúzi** může kilogram vodíku složením jádra helia z jednotlivých nukleonů uvolnit energii srovnatelnou se spálením 3 tisíc vagónů uhlí. O uskutečnění řízených termojaderných reakcí (2–6, 4–6) se pokoušejí vědci bezmála padesát let. Na některých aparaturách (např. západoevropský JET v Culhamu, americký TFTR) se již podařilo fúzi nastartovat a udržet po dobu několika desítek sekund. Ve Francii se buduje zatím největší fúzní zařízení, tokamak ITER.

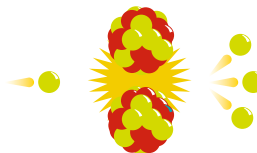
I termojaderné reakce uvolňují všeho všudy jen jedno procento ve hmotě skryté



anihilace 100 %



fúze 1 %



štěpení 0,1 %



hoření 0,000 000 1 %

Kolik procent energie obsažené ve hmotě se přemění na energii při jednotlivých procesech

energie. Možnost jejího plného využití nabízí zatím spíše teoreticky její uvolnění při zániku částic neboli při anihilaci. Takové reakce jsou pozorovány při studiu kosmického záření (1–6) a vědci je nejnověji vyvolávají pomocí velkých urychlovačů jaderných částic (3–6).

NEZNALOST ZÁKONA NEOMLOUVÁ

Lákavé články o slunečních, větrných, přílivových nebo jiných mořských elektrárnách svádějí k dojmů, že svět už brzo bude zbaven špinavého uhlí, zavrhně jaderné elektrárny, automobily a letadla přestanou otravovat ovzduší svými exhalacemi. Ekologové jsou těmito myšlenkami nadšeni, technici dokonce některé projekty ověřují, ale jen fyzikové znají omezení a bariéry, které příroda nastavuje našim přáním, jsou skeptičtí. Vedle zákona o zachování energie, který je formulován třemi větami termodynamickými, totiž platí i málo známý **zákon o omezení hustoty toku energie**. U tak závažného úkolu, jakým je zajištění dostatku energie pro nejméně 10 miliard obyvatel naší planety v roce 2030, se však na nějaké utopie bez přihlédnutí k fyzikální podstatě světa spoléhat nedá. Stejně jako u světských soudů musí platit: „Neznalost zákona neomlouvá!“

O HUSTOTĚ ENERGETICKÉHO TOKU

Jakékoliv přeměny energie, například chemické v tepelnou, tepelné v mechanickou nebo mechanické v elektrickou probíhají vždy v nějakém technickém zařízení, jehož rozměry stejně jako rychlost a parametry probíhajícího procesu jsou něčím omezeny. Lopatkami turbín může za jednotku času projít jen omezené množství páry a její tlak i teplota nesmí překročit kritické parametry, kterým by jejich materiál neodolal. Také vodičem lze propustit jen omezený elektrický výkon, aby drát odporem neshořel. Málokdo ví, že teplo se šíří pomaleji než zvuk...

Na tyto omezující podmínky poukazovali již na přelomu století dva fyzikové: **N. A. Umov** (1846–1915), a **J. H. Poynting** (1852–1914), a omezující podmínky toku energie matematicky popsali. S jejich poznatky se však setkáme jen ve vysokoškolských skriptech. Na jimi popsaná omezení nakonec narazila dnešní technika. Dlouhá léta se dařilo zvyšovat velikost, otáčky a výkony motorů, parametry kotlů nebo napětí a proudy v přenosových sítích až do určitých hranic. Výkon největších parních turbín se zastavil u 1500 MW, vodních turbín u 700 MW, lodních vznětových motorů (dieselů) u 40 MW. Ben-

zinové automobily končí svými výkony u 500 kW, elektrická nadřazená vedení lze bezpečně a ekonomicky stavět jen do napětí 1,5 milionu V.

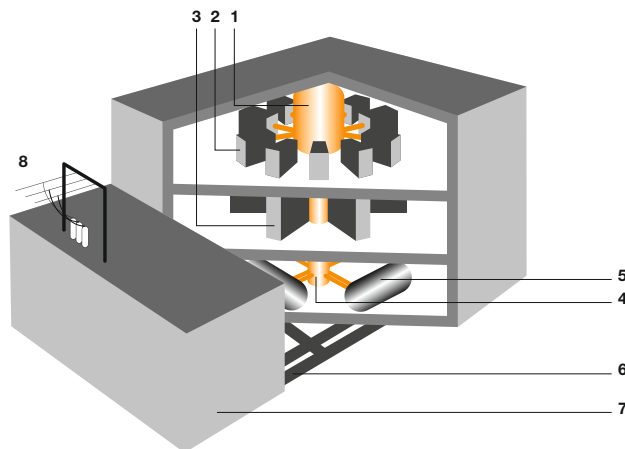
Pokusme se zákonem o omezené hustotě energetického toku prověřit jinak lákavě znějící projekty, zejména takové, které slibují už brzo snadné využití věčně se obnovující a zaručeně „čisté“ energie:

GEOTERMÁLNÍ ELEKTRÁRNY (PŘEMĚNA 2–3)

Geotermální elektrárny trpí řadou problémů. Zejména agresivním účinkem přírodních nositelů tepla, navíc pak místo předpokládané „čistoty“ je okolí povětšinou sužováno zápachem sirnatých plynů a čpavku. Pokusy čerpat teplo z vodou zaplavaných vrtů do hloubek až 5 km metodou Hot-Dry-Rock narážejí na problém nerespektování zákona omezení hustoty toku energie. Tepelná vodivost hornin je totiž mimořádně nízká. Pro elektrárnu s výkonem 1000 MW by podzemní plocha nutná k dostatečnému přestupu odpovídajícího množství tepla vyžadovala nereálných 300 km².

VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY (1–1, 1–3)

Pro výkon srovnatelný s dnes běžným tisícimegawattovým elektrárenským blokem



- 1 reaktor
- 2 dvanáctilaserový systém (zdvojený)
- 3 kondenzátorové baterie
- 4 primární okruh reaktoru
- 5 výměník tepla
- 6 sekundární okruh
- 7 strojovna se třemi turbosoustrojímí (po 1000 MW)
- 8 rozvodna a transformátor velmi vysokého napětí

Ideový návrh termonukleární elektrárny s dvanáctilaserovým systémem

by vzhledem k malé hustotě energie toku větru (asi 50 J na m³ vzduchu proudícího rychlostí 10 km/h) bylo nutno osadit krajinu 25 tisíci (!) větrných elektráren s třicetimetrovými vrtulemi. Viatr je navíc živel nespolehlivý.

SLUNEČNÍ ELEKTRÁRNY [4–3]

Jejich provoz je vzhledem k nízké hustotě slunečního záření (v nejpříhodnějších místech na pouštích Kalifornie, na Sahaře či v Austrálii nejvýše 1 kW/m²) ve všech případech dražší než obvyklé zdroje energie. Solární tepelné elektrárny s věžemi dosahují v nejlepší případě účinnosti 15 %. Použije-li se koberců fotovoltaických článků, dochází k velkému záboru plochy. K výkonu 1000 MW by bylo nutné drahými křemíkovými články pokrýt území nejméně 10 km². Ani jedna z několika technologií výroby „civilních“ solárních článků je zatím nedokázala zlevnit tak, aby dodávaly kilowatthodinu elektrického výkonu za méně než pětinasobek ceny kWh z rozvodné sítě. Na světě se fotovoltaické zdroje používají v podobě malých nebo přenosných jednotek (např. k napájení bójí, signálních světel, retranslačních stanic apod.). Koncem 20. století bylo na světě instalováno 1,5 GW v solárních elektrárnách.

JAKÝM ENERGIÍM A PŘEMĚNÁM PATŘÍ BUDOUCNOST

V důsledku nízké hustoty toku energie zklamaly pokusy s elektrárnami využívajícími **rozdílu teplot mořské vody** na hladině a v hlubinách, stejně jako pokusy s **vlnovými elektrárnami**. Největší z nich se roku 1995 po uvedení do chodu u skotského pobřeží náporom vln převrhla a zničila. **Přílivové elektrárny** lze budovat s obrovskými náklady jen na omezeném počtu míst v nehlubokých zátokách s vysokým rozdílem hladin při přílivu a odlivu.

Odpověď na otázku „který dnes běžně používaný proces přeměn je vůbec nejúčinnější“, tj. zda má hustotu toku energie nejvyšší, zní: **štěpení uranu!** V současné době probíhá ve 440 jaderných blocích, které kryjí celosvětovou spotřebu elektřiny ze 16 %. Přípravovaná generace rychlých reaktorů s rychlými neutrony navíc slibuje až sedmdesátkrát lepší využití dostupných zásob uranu. I u reaktorů s pomalými neutrony se připravují typy se zvýšenou účinností a s prodlouženou životností.

Ve výhledu má jaderná energetika i revoluční typ reaktorů s podkritickým množstvím paliva, které se budou udržovat v chodu pomocí urychlovačů a které možná dokáží spalovat i produkty štěpení,

včetně již použitého paliva uloženého prozatím v meziskladech.

Vůbec nejvyšší hustoty toku energie slibují energetické termojaderné reaktory. Od jejich spuštění na komerční bázi nás sice podle odhadů expertů dělí ještě padesát let, ale podaří-li se překonat zejména materiálové problémy, zabere termojaderný reaktor o výkonu 10 000 MW i s nutným zázemím plochu jen jednoho km² a bude svůj výkon nepřetržitě dodávat z vůbec nejrozšířenějšího a dokonale čistého „paliva“ – z vody! Existují dvě hlavní metody jak dosáhnout jaderné fúze – v zařízeních zvaných tokamaky nebo pomocí stlačení kuličky deuteriového paliva soustředěním laserových paprsků.

Energetika budoucnosti počítá ještě s dalším zdrojem energie – s vodíkem. Mohl by jako čistý a univerzálně použitelný nosič energie nahradit zemní plyn, jehož zásoby se rychle vyčerpávají. Vodík lze přenášet potrubím na velké vzdálenosti, zkoncentrovat jej do kapalné formy, čistě spalovat a využívat k pohonu motorů, z jejichž výfuků by odcházela pouze čistá vodní pára. Tak nějak zní projekty éry **vodíkové energetiky**...



BYDLENÍ A ENERGIE

Bydlení patří po tisíciletí – od doby, kdy se lidé rozhodli sestoupit ze stromů a dát přednost usdlému způsobu života – k základním potřebám člověka. Způsob bydlení je přitom ovlivňován civilizačním a kulturním vývojem, dosaženou hospodářskou úrovní, specifickými zvyklostmi jednotlivých národů a na neposledním místě přírodními, zvláště klimatickými podmínkami. A jak to souvisí s energií? Zejména v dnešní době jsou výstavba i provoz lidských sídel na spotřebu energie a dalších přírodních zdrojů stále náročnějšími. To vede ke snahám o energetické úspory, které jsou při vhodném řešení obydlí a ekonomičnosti stavby možné a zároveň žádoucí z hlediska ochrany prostředí.

BYDLENÍ S PŘÍRODOU

„Rozvržení soukromých staveb bude správné tehdy, bude-li v něm předně dbáno toho, v jakých krajích či v jakém podnebném pásmu se stavby zakládají. Musejí se totiž přirozeně jednotlivé druhy staveb stavět jinak v Egyptě, jinak v Hispánii, ne týmže způsobem v Pontu, odlišně v Římě a rovněž i v osobitých poměrech ostatních zemí a krajů, ježto na jednom místě je Země Sluncem při jeho oběhu přímo tísněna, na druhém místě je od něho daleko vzdálena a opět na jiném je ve správné střední poloze. Jako je tedy uspořádání vesmíru zařízeno od přírody v různých vlastnostech následkem sklonu zvířetnickového kruhu a sluneční dráhy vzhledem k zemskému prostoru, právě tak se musí zakládání staveb řídit zřejmě krajinnými poměry a růzností podnebí. Na severu je potřeba zřizovati budovy dobře

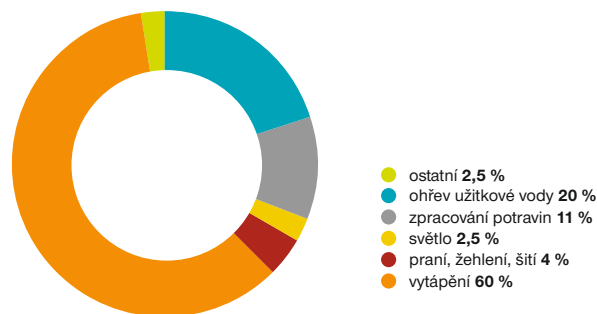
kryté pevnou vysokou střechou, přitom obrácené k teplým světovým stranám. Naproti tomu však ve slunečním žáru jižních krajů musejí se stavět otevřenější a obrácené k severu a severovýchodu, poněvadž jsou vystaveny tiživému horku. Tak se musí napravit umělým zákrokem to, čím na jedné straně škodí příroda. Rovněž v ostatních krajinách je nutno upravit věci způsobem, odpovídajícím podnebným poměrům místa“.

Těmito slovy začíná výklad o obytných stavbách ve dva tisíce let starém spisu **Deset knih o architektuře**, jehož autorem je antický římský architekt **Vitruvius**. V jeho díle se dovídáme o zakládání měst, o stavbě chrámů, veřejných i obytných budov, o stavebních hmotách a konstrukcích i o tehdejších civilních a válečných strojích.

Mnohé části tohoto rozsáhlého spisu jsou věnovány vztahu k přírodním podmín-

kám, což by asi dnešní pisatel označil jako ekologickou tematiku. Najdeme zde úvahy o výběru zdravých míst pro zakládání měst a staveb, o orientaci ke světovým stranám a o významu různých směrů větrů. Při zdůrazňování hospodárnosti stavby si Vitruvius všímá dnes tak aktuálních problémů uchování přírodních zdrojů a energetických úspor například nejkratšími rozvody teplé vody, dobrou izolací stěn apod.

Přímo jako popis „ekologického domu“ působí líčení obydlí maloasijských Frygů, „kteří sídlí v stepnatých rovinách a pro nedostatek lesů mají o stavební dřevo nouzi, vyhledávají si přirozené vyvýšeniny země, vyhlubují je odkopáním jejich střední části, prokopávají do nich chodby a rozšiřují jejich prostory, pokud to povaha místa připouští. Pak nad tím svazují dohromady kůly a vytvářejí z nich kuzele, které pokrývají rákosím a chrastím, a navrhují nad



Průměrné rozdělení spotřeby energie v domácnostech ČR (podle průzkumu Teplárenského sdružení)

obydlení co nejvyšší hromadu země. Takto uzpůsobená přístřeší poskytují velmi teplé zimy a velmi chladná léta“.

Opusťme však Vitruvia, protože v dnešní době jsou **požadavky na energetické úspory** při bydlení ještě mnohem aktuálnější. V hospodářsky rozvinutých zemích připadá na domácnost 30 až 40 % veškeré vyrobené energie. Uvážíme-li, že rozvinuté země, v nichž žije jen 22 % lidstva, využívají přibližně 70 % ve světě vyráběné energie, pak jen domácnosti v těchto zemích spotřebovávají téměř tolik, kolik činí veškerá spotřeba energie 78 % lidstva v rozvojových zemích.

ENERGIE V DOMÁCNOSTI

Člověk je tvorem, který má velkou schopnost **adaptace na nejrůznější podmínky života**. Dokazuje to tím, že je schopen žít na rovníku i na severním pólu, existovat v podzemí, ve vodě i v ovzduší. Této své vlastnosti děkuje lidstvo za to, že mohlo osídlit celou Zemi a postupně ji stále více ovládat. Je to dáno schopností člověka využít všeho, co je pro něj příznivé, a zároveň se uchránit před nepříznivými vlivy.

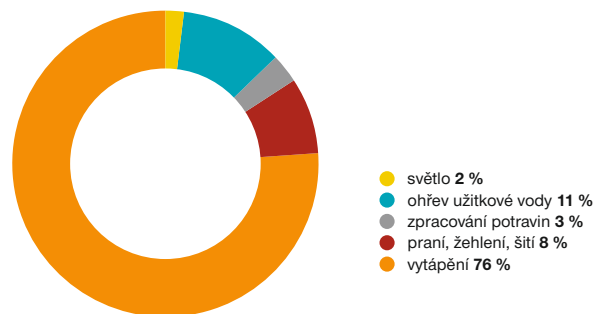
Tato „emancipace“, která je do určité míry vlastní i jiným živým tvorům, se u člověka projevuje využíváním ohně, oblékáním, používáním nejrůznějších nástrojů, strojů,

nejrůznějšími stavbami. Toto stále zřetelnější oddělování od ostatní přírody je však možné pouze za cenu výroby a spotřeby stále větších objemů různých druhů energií.

U lidských obydlí je energie nutná pro výrobu a dopravu stavebních materiálů, pro pálení cihel, pro výrobu cementu a stavebního železa, pro výrobu vnitřních zařízení ze dřeva, kovů i plastů. Spotřebovává se již při hloubení základů obytných domů, při provádění staveb i při stavbě komunikací a inženýrských sítí.

Energie je spotřebovávána nejen při výstavbě obytných domů, ale ještě více při jejich používání. Obytné čtvrti jsou zpřístupňovány veřejnou dopravou, ulice jsou čištěny a osvětlovány, pod ulicemi přitéká v potrubích pitná voda, která se musí někde čerpat, čistit, přivést do vodojemů a pak rozvádět. Jiným potrubím se musí odvádět splaškové vody, které se před jejich vypouštěním do vodních toků musí čistit. Toto vše není možné bez spotřeby stále většího množství energie. Ta se kromě toho přímo přivádí do lidských obydlí jako energie elektrická, nebo jako plyn, nafta i topné oleje, a je určena k přeměně na teplo nebo k další spotřebě při užívání různých domácích přístrojů.

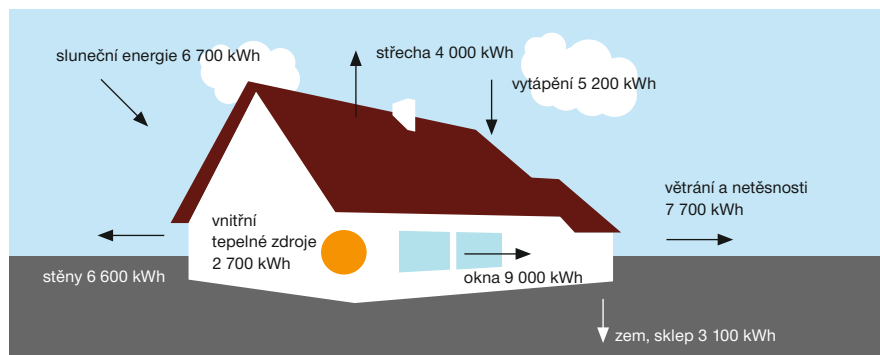
Průměrný byt v činžovním domě potřebuje je ročně 60–90 GJ (gigajoulů, tzn. 10^9 joulů),



Průměrné rozdělení spotřeby elektrické energie v domácnostech SRN (podle spolkového ministerstva hospodářství)

zatímco rodinný dům 90–120 GJ. Jsou to ovšem jen velmi orientační údaje, protože např. v bytových domech záleží mnoho na jejich dispozicích a samozřejmě i vnější izolaci stěn a rozměrech oken. U rodinných domů má kromě toho vliv zejména způsob zastavění, protože izolované stojící domy jsou více ochlazovány než domy řadové. Základní rozdíly vycházejí především z objemu spotřeby na vytápění, jejíž podíl se v našem podnebním pásmu pohybuje nad 55 % veškeré spotřebované energie. Teplo slouží nejen k vytápění, ale i k ohřevu vody, který představuje dalších téměř 25 %. Podle jiných údajů z ČR připadá na vytápění 60 % a např. podle německých zjištění až 75 %. To znamená, že na všechny ostatní druhy spotřeby, jako je příprava jídel, chlazení a mrazení potravin, praní prádla, osvětlení, žehlení atd., připadá zbývajících necelých 25 %.

Poněkud jiná je **struktura spotřeby např. v USA**, kde se zejména v poslední době rozšiřuje klimatizace bytů. Jestliže v polovině našeho století mělo jen něco přes 1 % všech domů v USA klimatizační zařízení, pak koncem 80. let to bylo již více než 60 %. Podle tamních statistik připadá na klimatizaci více než 10 % veškeré spotřeby domácností. Několikanásobně vyšší je v USA i podíl spotřeby energie připadající na drobné



Energetická bilance rodinného domu

spotřebiče, kterých je v amerických domácnostech podstatně více než v Evropě. Proti našim zhruba 3 až 4 % na chlazení a mražení připadá v průměrné americké domácnosti na tento účel 14 %. Je to dáno používáním velkokapacitních mrazicích boxů, v nichž se uchovávají potraviny po mnoho týdnů. Naopak kuchyňské zvyklosti (polotovary, hotová jídla, jednoduché recepty) způsobují, že spotřeba energie na přípravu jídel je poloviční.

ZTRÁTY ENERGIE

Energetické ztráty při bydlení souvisejí bezprostředně s vlastnostmi obydlí i se způsobem jeho užívání. Když si představíme byt jako určitý obestavěný objem – bez ohledu na to, zda je v nájemním domě nebo stojí volně jako rodinný dům – pak je zřejmé, že základním problémem budou tepelné ztráty. Záleží na tom, **jak je byt proti vnějšku izolován** a kolik jeho povrchů je přímo ochlazováno dotykem s vnějším, většinou chladnějším ovzduším. **Záleží rovněž na tvaru a členitosti stavby**, protože kompaktní hmota má menší povrch a je méně ochlazována. Tepelné ztráty jsou také podstatně ovlivněny velikostí a uspořádáním otvorů oken a dveří, majících většinou mnohem horší izolační vlastnosti, a samozřejmě i zvyklostmi větrání.

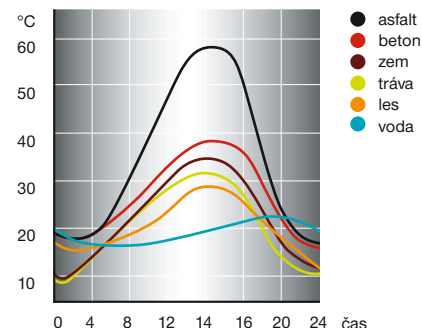
Samostatnou problematiku představují mnohapatrové a věžové bytové domy, charakteristické pro nová sídliště. U nich každé schodiště, výtahová šachta nebo domem prostupující instalační jádro působí jako komín, který nasává vzduch z nižších pater a vytlačuje jej z pater vyšších. Tomuto i z jiných hledisek nepříznivému efektu lze zabránit vhodným předělením mezi některými patry.

Rozsah tepelných ztrát výstižně charakterizují údaje z Dánska. Tam podrobnými měřeními zjistili, že z celkové hrubé spotřeby energie 815 PJ (petajoule = 10^{15} joule) v celé zemi připadá na domácnosti necelých 245 PJ a z toho 170 PJ na vytápění včetně přípravy teplé vody. Na přípravu teplé vody se spotřebovává 10–15 % energie připadající na domácnosti, přičemž ve srovnání s tím v průměru 25 % dodané energie se ztrácí stěnami a okny bytů nebo domů.

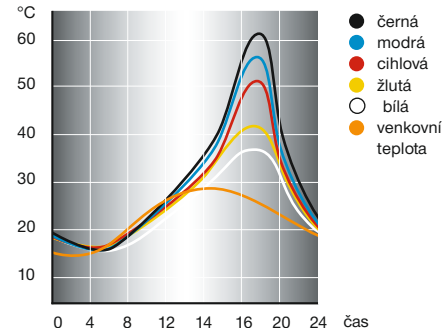
V téže zemi spočítali, že průměrná roční spotřeba energie na byt o rozloze 130 m² činí v přepočtu na litry nafty:

	Starý, špatně izolovaný	Nový, dobře izolovaný
volně stojící rodinný dům	4 000	1 600
řadový rodinný dům	3 400	1 500
byt v činžovním domě	2 800	1 300

a) různé materiály

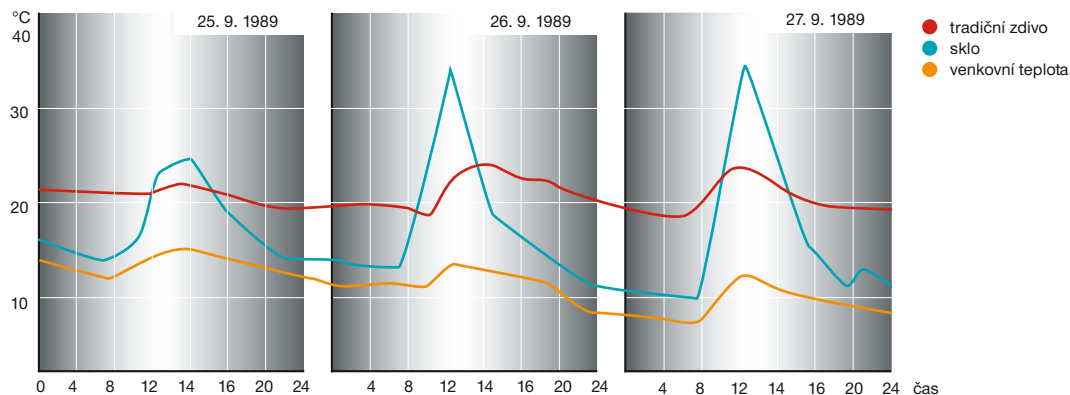


b) různé barvy



Denní průběh teploty povrchů

Nejpřekvapivější jsou **rozdíly mezi starými a špatně izolovanými byty a novými, které jsou dobře izolovány**. Ve skupině špatně izolovaných je pozoruhodný značný rozdíl mezi volně stojícím rodinným domem s velkým ochlazovaným povrchem a bytem v činžovním domě, který je přece jen chráněn byty sousedními. I takový byt však vykazuje mnohem větší ztráty, než dobře izo-



Rozdíly tepelného režimu domů se zděným a proskleným pláštěm

lovaný volně stojící rodinný dům. Na rozdíl od špatně izolovaných objektů nejsou u dobře izolovaných tak velké rozdíly mezi rodinným domem a bytem v činžovním domě.

Účinnější je izolování z vnějšku než z vnitřku stavby, avšak účinnost jakýchkoliv izolací může být naprosto zpochybněna vlhkostí zdí nebo tzv. tepelnými mosty, tvořenými stavebními díly bez tepelných izolačních schopností. Jsou to např. železobetonové nosné konstrukce nebo různé kovové součásti, prostupující z vnějšku stavby až do místností. Izolace a tepelné utěsnění domů a bytů však nesmí úplně zamazit přirozenému dýchání stavby, protože by se byt stal neobyvatelným a jeho stěny by začaly vlhnout.

Tepelným mostem jsou i okna. Záleží na jejich konstrukci, utěsnění, na dvojitěm či trojitěm zasklení a samozřejmě především na způsobu větrání. Za úsporné řešení se považuje větrání pomocí menších otevíratelných klapek. V poslední době se vyrábějí na okenní skla fólie, u nichž se uvádí, že mohou v létě snížit teplotu v místnosti téměř o 10 % a naopak v zimě snížit ztráty tepla sáláním až o 30 %.

Na tepelných ztrátách domů se různě podílejí jejich jednotlivé součásti. Podle ra-

kouských měření připadá na okna a větrání téměř 40 %, na vnější zdi 16–35 %, na únik tepla střechou až 15 % a podlahou sklepa u rodinného domu až 13 % veškerých ztrát. Podle těchto statistik má velký vliv také špatná funkce a nevhodné řešení otopného systému, které mohou vyvolávat až 25 % celkových ztrát tepla.

Určitý vliv mají i tak zdánlivě nedůležité věci, jako je **struktura a barva povrchů staveb**, včetně způsobu využití území v jejich okolí. Teplo lépe odráží světlé a lesklé povrchy a naopak ho akumulují povrchy tmavé a matné. Chladněji je v místech, kde je v okolí domů zeleň a trávniky, a naopak tepleji tam, kde jsou zpevněné povrchy, zvláště kamenem, betonem nebo tmavým asfaltem.

Některé stavební materiály akumulují teplo a následně ho vydávají do svého okolí, zatímco jiné tyto vlastnosti nemají.

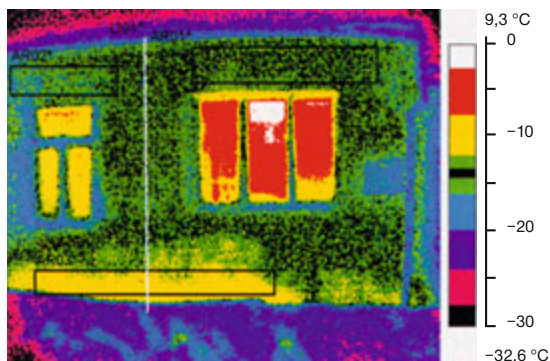
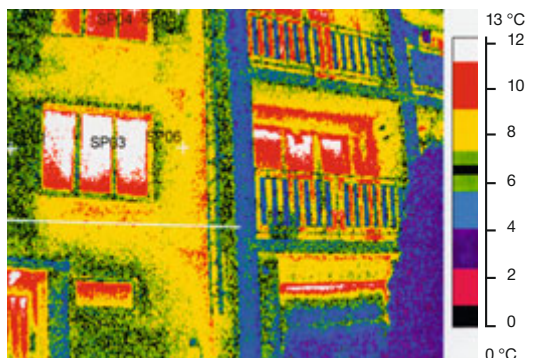
Mnoho záleží na **umístění domu, nebo orientaci** ke světovým stranám a krytí vegetací. Dům na návrší je více ochlazován a naopak na jižním nebo západním svahu se bude snadněji vytápět, protože mu pomohou sluneční paprsky. Stejně tak teplejší jsou ty místnosti bytu nebo domu, které jsou orientovány k jihu nebo západu a naopak

chladnější ty, které mají okna na východ a zejména na sever.

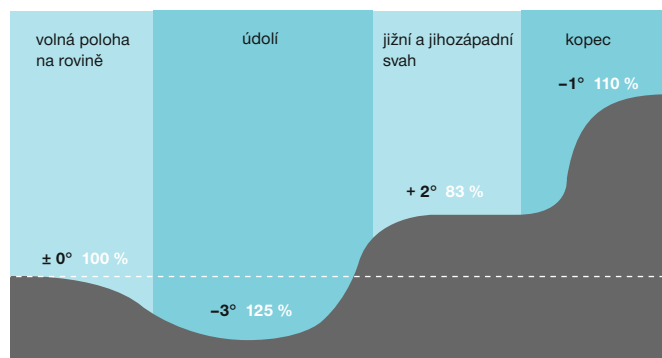
V našem zeměpisném pásmu je nejlépe **orientovat obytné místnosti** na jih nebo západ, ložnice na východ, aby nebyly večer přehřívány, a kuchyně, další příslušenství i spíže na východ nebo sever. Obývací místnosti a dětské pokoje by měly mít optimální teplotu 20–22 °C, koupelny by měly být o něco teplejší a naopak ložnice a příslušenství se spokojí s 16–18 °C.

Podle provedených propočtů lze docílit **zlepšením izolace vnějších stěn domu nebo bytu** asi 30 % úspor spotřebované energie. Při zvýšení teploty v místnostech o 1 °C se zvyšuje spotřeba energie o celých 6 % a naopak při snížení v celém bytě z 26 °C na 20 °C dosahují úspory až 40 %. Určité radikálnější úsporné programy doporučují, aby se nepoužívané prostory domu a bytu vůbec nevytápěly, a pouze mírně temperovaly. Doporučuje se také např. nevypouštět teplou vodu z vany, dokud nevychladne, protože podle amerických výzkumů taková voda dokáže celou 1 hodinu ohřívat malý dům nebo byt. Totéž se týká teplé vody z praček nebo myček nádobí.

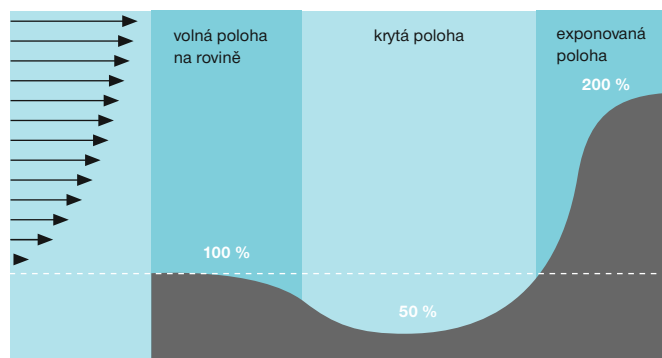
Velmi účinným nástrojem pro úsporu tepla se jeví **instalování měřicích přístrojů**,



Termogramy domů v obci Rouchovany. Měření prováděla energetická společnost ČEZ, a. s., v roce 1997. Bílá = největší vyzařování (úniky tepla), modrá = nejmenší vyzařování (úniky tepla).



Vliv polohy domu v terénu na tepelné ztráty



Působení větru na tepelné ztráty

jejichž sledování vede uživatele k zamyšlení nad nutností spotřeby energie a možnostmi úspor, které mohou dosahovat až 25 %.

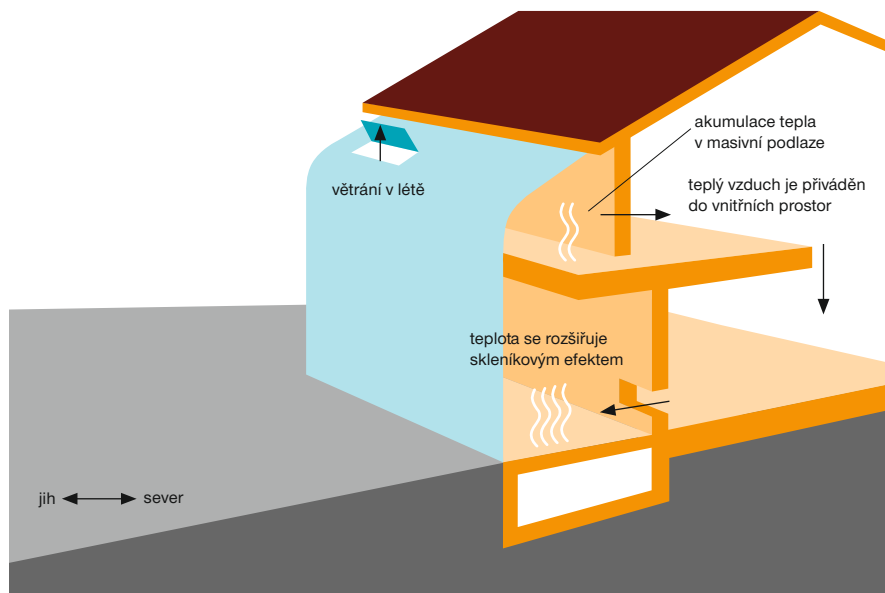
Podstatných úspor lze docílit použitím moderních **otopných systémů**, u nichž stupeň využití energie dosahuje až 90 %, zatímco u starých agregátů činí zhruba polovinu. Nezanedbatelná procenta vykazují i srovnání starých a nových spotřebičů elektřiny, jako jsou osvětlovací tělesa, vařiče, chladničky, vysavače atd. Nezáleží však jen na parametrech těchto spotřebičů, ale také na tom, jak často a jakým způsobem je rodina zvyklá na jejich používání a jak bohatě je jimi vybavena.

ENERGETICKY ÚSPORNÉ PROJEKTOVÁNÍ

Racionální spotřeba a případná úspora energie závisí na všech vlastnostech obytné stavby, a proto se o výsledku rozhoduje od samého počátku při projektu obytného domu. Obytný dům a byt musí především sloužit svým obyvatelům, musí jim poskytovat vhodné prostředí pro každodenní život, pro oddech i práci a vzdělávání. Pro tyto účely musí mít byt dostatek účelově diferencovaných prostorů, musí být vybaven příslušnými zařízeními a musí svým obyvatelům poskytovat dobré vnitřní mikroklima. Kvalita bydlení přitom nezávisí

jen na samotném bytu, ale i na prostředí, které ho obklopuje.

Většina obyvatel by jistě dala raději přednost životě v rodinném domě uprostřed zahrad a chtěla by mít co nejblíže do přírody, avšak zároveň by nechtěla ztratit výhody města, zvláště v dostupnosti veřejné dopravy, obchodů, služeb, škol, zdravotnických zařízení, kulturních zařízení apod. Dnes, při zavádění tržních cen za veškeré s bytem spojené služby, přistupuje k úvahám o nákladech na pořízení bytu stále důrazněji vědomí toho, že také provoz bytu včetně spotřeby energie něco stojí. Podle studií v sousedním Rakousku činí jen výdaje



Tepelná cirkulace v „ekologickém“ domě

na vytápění až 25 % měsíčních nákladů na provoz domácnosti. Není proto náhodou, že se věnuje stále více pozornosti takovému řešení rodinných domů a bytů, které jsou co nejúspornější z hlediska energetické spotřeby a omezení ztrát.

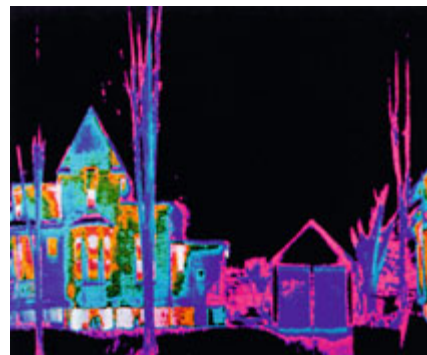
Pokud označíme tepelné ztráty volně stojícího domu jako 100 %, pak při částečném zapuštění tohoto domu do terénu a jeho zakrytí zatravněnou střechou klesají tyto ztráty na čtvrtinu. Jiným zajímavým údajem z německých výzkumů je zjištění, že při vnější teplotě vzduchu 28 °C se v létě bílá, na západ orientovaná stěna ohřeje na 36 °C, zatímco černá na 65 °C. Ještě zřetelnější jsou tyto rozdíly u rovných střech. V letní sluneční den se zatravněná střecha ohřeje na 20 °C, zatímco střecha pokrytá černým asfaltem až na 100 °C, což má podstatný vliv na mikroklima uvnitř budovy i v jejím okolí. U zatravněné rovné střechy kolísá v létě její teplota mezi 10–20 °C a v zimě mezi 0 °C až –10 °C. U střechy z černého asfaltu

se teplota pohybuje v létě mezi 20–80 °C a v zimě mezi 0 °C až –30 °C.

V některých případech může být větší ohřívání povrchu vhodné a jindy opět nežádoucí. Ve většině zemí a také v ČR jsou základní požadavky na tepelnou izolaci staveb určeny technickými normami, vycházejícími ze zajištění tzv. **tepelné pohody** uživatelů. Tato pohoda, která je obzvláště důležitou při dlouhodobém pobytu v určitém prostoru, je ovšem též ovlivněna návyky lidí a jejich způsobem života a může být do určité míry výsledkem otužování.

V normách se používají pojmy jako **tepelný odpor konstrukcí**, a dnešní předpisy jsou takové, že již nestačí dříve obvyklý požadavek, aby izolační schopnosti vnějších stěn odpovídaly izolační schopnosti 45 cm tlusté zdi z plných pálených cihel.

Celkově lze požadavky na energeticky úsporné a tím i **ekologicky vhodné projektování a stavění** shrnout do několika základních bodů.



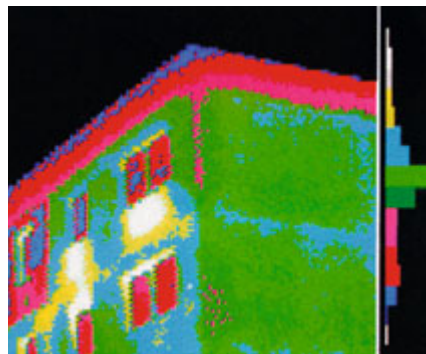
Termogram tepelného vyzařování skupiny rodinných domů v USA (bílá = největší vyzařování, teplé barvy = značné vyzařování, modrá = slabé vyzařování)

Je to především:

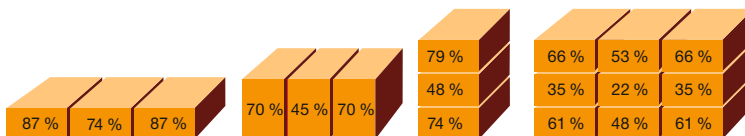
- znalost a maximální využívání fyzikálních zákonů, které se týkají tepelných i jiných vlastností hmot a konstrukcí, nebo hlavních faktorů mikroklimatu,
- volba vhodného pozemku z hlediska utváření terénu, orientace ke světovým stranám a zejména převládajícím směrům větrů,
- koncepce vnitřní dispozice (uspořádání místností), umožňující energetické úspory při užívání bytu a všech agregátů a spotřebičů,
- volba stavebních hmot a konstrukcí, umožňujících příznivou vnitřní pohodu, dobrou tepelnou izolaci a následnou recyklaci,
- výběr způsobů technického vybavení, které jsou co nejšetnější z hlediska energetických nároků i zásahů do přírodního prostředí,
- účelné dimenzování zdrojů energie při výstavbě objektu i při jeho užívání,



Termogram tepelného vyzařování panelového domu (Německo)



výška = 3 m
hloubka = 6 m
délka = 6 m
Q = 100 %



Vliv uspořádání obytných bloků na tepelné ztráty bytů

- omezení objemů tuhých odpadů, odpadního tepla i znečišťování ovzduší a vody,
- vyloučení škodlivých zásahů do rozmanitosti rostlinného a živočišného světa na místě stavby,
- začlenění objektu do okolní zástavby a zvážení energetického významu možnosti napojení na dálkové přívaděče energie.

Tyto základní požadavky se v konkrétním řešení jednotlivých bytových staveb promítají do vhodného řešení tvaru a objemu budovy, účinnosti izolace vnějších stěn, velikosti a řešení oken a dveří, využití určitých částí stavby pro konzervaci tepla a zastínění bytu před přílišným přehříváním nebo naopak ochlazováním.

„EKOLOGICKÝ DŮM“

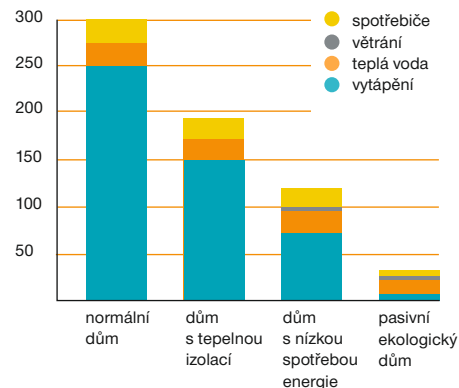
Přívlastek „ekologický“ se používá – právem a někdy i neprávem – pro nejrůznější

technologie, výrobky, činnosti, způsoby hospodaření, stavby a zařízení. Používá se také ve spojení „**ekologický dům**“, čímž se rozumí takový dům, který se chová šetrně ke svému prostředí, vyvolává menší nároky na neobnovitelné zdroje, je úsporný z hlediska spotřeby energie a vytváří žádoucí pohodu pro život lidí.

Ještě nepříliš dávno se v celém světě při projektování a výstavbě obytných domů příliš k ekologickým požadavkům nepřihlíželo. Když byl dům budován v chladných zeměpisných pásmech, zvýšilo se jeho vytápění, a mohl pak mít stejně velká okna jako někde na jihu. Stejný dům se postavil v tropech a jeho přílišné přehřívání se vyrovnalo vestavěním klimatizačních zařízení.

Teprve zvyšování cen energie v posledních letech a také zrychlující se čerpání neobnovitelných zdrojů paliv vedlo spolu s postupným uvědomováním si ekologických aspektů k poznání, že takové domy nemohou být nadále přijatelné. Jistě k tomu-

energie
kWh/m²



Spotřeba energie v různých tepelně řešených domech

to poznání přispěla i světová populační exploze a soustředění obyvatelstva do měst, vyvolávající enormní nároky na potřebu bytů a spotřebu energií.

Stejně jako nelze uplatnit jeden typ energeticky náročného domu ve všech podnebných pásmech, neexistuje jeden typ „ekologického domu“. Není náhodou, že se lidé začali znovu zajímat o to, jak jejich dávni předkové budovali své domy v době, kdy pro ně byla harmonie s přírodou naprostou samozřejmostí.

V blízkosti zemských pólů budovali a dodnes budují lidé svá obydlí tak, aby byla zajištěna co největší tepelná izolace vnitřních prostorů, které jsou dimenzovány co nejúsporněji. Krajním případem jsou eskymácká obydlí, která mají pouze jeden otvor s tepelně izolujícím zádveřím. Tento princip se plně osvědčuje u iglů ze sněhových bloků, kde je zajištěno přijatelné vnitřní mikroklima bez vytápění, jen pomocí tepla vydávaného lidskými těly.



Obydlí přírodních národů

V zeměpisných pásmech položených **blíže k rovníku** se od pradávna stavěly domy, které se snažily co nejvíce využít sluneční paprsky, přinášející tepelnou energii. Jsou co nejvíce izolovány proti severu nebo na jižní polokouli proti jihu a naopak vhodně orientovány ke slunci, kterému se co nejvíce umožňuje pronikání do vnitřních prostorů.

Ještě jižněji jsou to domy, které jsou vhodně řešenými střechami chráněny před přímým pronikáním slunečních paprsků v obdobích letního tepla a naopak umožňují přístup slunce v době, kdy je v chladnějších obdobích níže nad obzorem. V těch krajínách, kde jsou **velké tepelné rozdíly mezi dnem a nocí** a zvláště mezi létem a zimou, se od pradávna používalo zapouštění obydlí do terénu, anebo jejich izolace tlustými vrstvami zeminy pokrytými travou.

V subtropických pásmech se v místní architektuře opět uplatňuje izolace proti pronikání **tepla**. Omezují se větší otvory staveb, obytné místnosti se orientují do zastíněných atrií s vodními plochami a chladivými vodotrysky. Bílé a hladké povrchy staveb odrážejí teplo a úzké uličky jsou vždy zastíněny.

V tropických pásmech již nepomáhá ani silná izolace. Setkáváme se tam proto s lehkými stavbami, chráněnými širokými střechami před přímým pronikáním slunečních paprsků. Stěny domů umožňují trvalé provětrávání nejen okny, ale i záměrně



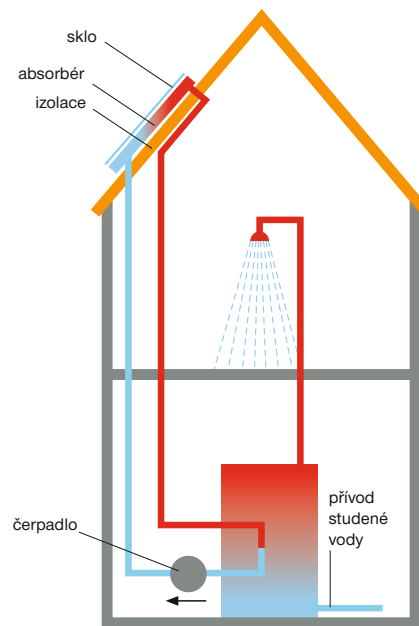
Britský ekodům architektky Sarah Featherstone

ně perforovanými stěnami při jakémkoliv směru větru, přičemž se dává přednost orientaci tím směrem, odkud přicházejí větry nejchladnější.

Jiné vlastnosti mají obydlí v kopcovitém terénu, kde je možné na návrších očekávat večerní chlad, a jiné opět v horských údolích nebo na březích řek a moří. Poznání a opravdové pochopení lidové moudrosti, vložené do těchto staveb, je velkým inspiračním podnětem pro stavby, které se dnes nazývají „ekologickou“, „solární“ a „zelenou“ architekturou nebo „alternativním stavěním“ či „biotekturou“.

Energetický princip, z něhož se vychází, je tzv. „**solární projektování**“, jehož podstatou je co nejlepším využitím slunečního tepla. Toto solární projektování lze v podstatě dělit na pasivní a aktivní.

Pasivní solární stavby jsou ty, které nemají žádná zvláštní zařízení, ale jsou řešeny tak, aby byly samy o sobě schopny vstřebávat a uchovávat teplo ze Slunce pomocí již popsaných opatření, jako je orientace ke světovým stranám, tepelná izolace apod. Tato pasivní opatření jsou velmi charakteristická pro lidové stavitelství. Jejich principy jsou zaznamenány nejen u Vitruvia, ale také ve starých indických traktátech a čínských knihách ritu. V současné době se tato pasivní opatření mohou záměrně vyvíjet např. budováním tlustých zdí uvnitř budovy,



Funkce solárního kolektoru

které neslouží jako izolace proti vnějšku, ale jako akumulátory tepla.

Aktivní solární stavby je nespokojují pouze s tímto osvědčeným souborem pasivních opatření, ale uplatňují techniku, jejíž hlavním posláním je nejen snížit spotřebu energie, ale zároveň co nejvíce omezit spotřebu energie z nenahraditelných zdrojů. Mezi taková zařízení patří nejen dnes již obecně známé sluneční kolektory, ale také tepelná čerpadla, využívající teplo ze zemních vrtů, vody nebo vzduchu, velkoobjemové akumulátory energie, zařízení pro přímou přeměnu solární energie, větrné elektrárny apod. Lze sem zařadit i používání zimních zahrad pro získání tepla.

Problémem ekologických domů je dosavadní značná nákladnost různých zařízení na získávání tepla ze Slunce a tím jejich dlouhá ekonomická návratnost. Určitou zábranou může být nezvyk na stavby s těmito zařízeními, což vyvolává potíže při jejich umísťování



F. Hundertwasser: Obytný dům, který je příkladem neobvyklého řešení obytného prostředí se snahou o jeho obohacení přírodními prvky a dosažení rozmanitosti

a stavebním schvalování. To se ostatně týká i jiných zařízení, jako jsou netradiční způsoby čištění odpadních vod, kompostovací suché záchody, recirkulace vody atd.

V našem zeměpisném pásmu, kde je průměrná doba slunečního svitu 1600 až 2 200 hodin za rok, dopadá za tuto dobu kolmo na 1 m² plochy 800–1000 kWh, což je charakteristické pro celou střední Evropu. Ve srovnání s tím je to např. na Sahaře 2 500 kWh a v subtropických pásmech, kde je někde až 300 slunečních dnů v roce, téměř 2 000 kWh. Tyto rozdíly jsou tak značné, že v jižněji položených zemích, kde jsou navíc nároky na vytápění mnohem nižší, lze počítat se skutečnými solárními domy a také s efektivností velkých slunečních elektráren. U nás mají takové stavby v současné době převážně experimentální ráz a slouží jako ukázkové objekty jednotlivých výrobců těchto zařízení a případně projektantů nebo stavitelů takových budov.

Již dnes při ochraně obytného domu před větrem, izolací stěn, úsporným větráním, orientací budovy a místností k jihu lze ušetřit až 35 % veškeré spotřebované energie. Při použití zimní zahrady nebo zasklené lodžie jako zdroje tepla to může být až 50 %, přičemž její zřízení zvyšuje stavební náklady o 10 %. Zimní zahrada přitom funguje jako přitápění ve slunečných dnech podzimu a jara, v zimě spíše jako izolace.

Úspora energie, která se přímo promítá do úspory finančních prostředků, není aktuálním tématem pouze u nás. Velká pozornost se jí věnuje například v USA, které jsou největším spotřebitelem energie na světě nejen co do objemu, ale i co do podílu na 1 obyvatele. Úsporné programy vycházejí z názoru, že určitý objem energie, který lze získat úsporami spotřeby, je lacinější, než při jeho získání výstavbou nové elektrárny. Mezi argumenty se např. uvádí, že snížení spotřeby energie na polovinu ve více než 70 milionech amerických domů a bytů by znamenalo ušetřit dvě třetiny dovozu ropy z Blízkého východu.

Některé americké univerzity a další instituce školí tzv. domovní „detektivy“, „auditory“ nebo „lékaře“, kteří na komerčním základě provádějí **průzkumy energetických bilancí a tepelných vlastností domů a bytů** a doporučují potřebné úpravy. Byly již vytvořeny jednoduché přístroje, které jsou např. schopny vyvolat umělý průvan, zjistit směr a intenzitu proudění uvnitř bytu, ověřit funkci topných agregátů apod. Po takovém průzkumu mohou nejjednodušší úpravy za několik set dolarů uspořit kolem 20 % nákladů domácnosti na energii a vytápění.

Ještě mnoho dalších let budou tvořit převahu bytového fondu u nás i v jiných zemích již existující budovy, a proto budou mít z hlediska energetických úspor rozho-



Solární kolektor

dující význam pasivní opatření. Spočívají ve zlepšení tepelně izolačních vlastností staveb, jejich postupným vybavením energeticky úspornějšími a efektivnějšími otopnými systémy, spotřebiči a samozřejmě též měřidly spotřeby všech energetických a tepelných médií. To však neznamená, že není třeba daleko intenzivněji usilovat o využívání obnovitelných zdrojů energie a jejich uplatnění i ve sféře bydlení.

Nechceme přece dojít do situace, kterou líčí vědeckofantastické romány z doby tzv. energetického šoku v 70. letech, kdy si lidstvo poprvé opravdu uvědomilo, že fosilní zdroje energie nejsou nevyčerpatelné. V těchto románech se popisuje lidská společnost, která svým rozmařilým chováním stojí na hranici vyčerpání zdrojů a nezbyvá jí než rušit všechna zařízení spotřebovávající zařízení, omezovat veškerou dopravu a přestěhovávat se do několika jeskyní, v nichž by ještě bylo možné udržovat k životu lidí potřebnou teplotu.



ENERGIE A POČASÍ

„V rozbouřených vodách, které se po neustávajícím dešti valí některými okresy, zahynulo během včerejška několik lidí, desítky dalších byly zraněny. Silný proud bořil v obcích podhůří Beskyd a Jeseníků domy. Je to katastrofa mimořádného významu, která nemá v novodobé historii této země obdoby.“ (MFD 8. 7. 1997) „Pět mrtvých po sobě zanechaly rekordní třicetistupňové mrazy, které řádily v Moskvě.“ (LN 18. 12. 1977) A mohli bychom pokračovat – potopa z roku 2002 v Čechách, vlny tsunami, hurikány... Mají na svědomí životy lidí i obrovské škody na majetku. Existuje však věda, která tyto pohromy dokáže nejen vysvětlit, ale v lepším případě jim i zabránit.

CO JE TO METEOROLOGIE

Velké povodně v letech 1997 a 2002 napáchaly v naší zemi škody za mnoho miliard korun. Způsobil je velký příval vody, která se v průběhu několika dnů vyhlila z oblohy ve formě velmi silných dešťů. Proč se to stalo? Vysvětlení bude úkol pro mnoho odborníků různých oborů, např. meteorologie, hydrologie, geografie apod. Právě meteorologie si klade za cíl vysvětlovat a předpovídat rozličné přírodní jevy v atmosféře, a to samozřejmě nejen katastrofy.

Meteorologie je věda o zemské atmosféře – o jejím složení, vlastnostech, dějích a jevech v ní probíhajících. K základním meteorologickým disciplínám patří dynamická meteorologie, synoptická meteorologie, fyzikální meteorologie, klimatologie, nauka o meteorologických přístrojích, hydrometeorologie a nauka o chemismu a radioaktivitě atmosféry. Ze směrů užívaných nejčastěji

v běžné praxi mají značný význam zemědělská meteorologie, letecká a námořní meteorologie aj. Meteorologická služba a výzkum v celosvětovém měřítku organizuje a odborně řídí Světová meteorologická organizace se sídlem v Ženevě.

ATMOSFÉRA – JEJÍ VLASTNOSTI, STAV A SLOŽENÍ

Atmosféra je plynný obal Země, který sahá od zemského povrchu do výšek několika desítek tisíc kilometrů a který v převážné míře rotuje spolu se Zemí. Atmosféra je zásobárnou kyslíku, chrání zemský povrch před kosmickým zářením, před ultrafialovou částí slunečního záření i před prudkými teplotními výkyvy. Bez atmosféry by se na Zemi nemohl šířit zvuk, přechod mezi dnem a nocí by byl okamžitý, obloha zcela černá a teplota by se pohybovala v mezích od více než +100 °C v dne do asi –100 °C v noci.

Celková hmotnost zemské atmosféry je $5,3 \times 10^{18}$ kg. Nad každým čtverečním centimetrem zemského povrchu je sloupec vzduchu o hmotnosti asi 1 kg. S výškou nad zemí hustota vzduchu rychle klesá. Přibližně 90 % hmotnosti vzduchu je do výšky 16 km, 99 % do výšky 30 km a 99,9 % do výšky 48 km.

Atmosféra Země je tvořena směsí různých plynů a vodní páry a obsahuje také pevné a kapalné částice. Za suchou a čistou atmosféru bývá považována atmosféra s chemickým složením (v blízkosti zemského povrchu) uvedeným v tabulce 1.

Procentuální zastoupení většiny plynů se do výšky 100 km nemění. Výjimku tvoří oxid uhličitý, jehož je ve dne méně než v noci a nad souší je ho více než nad mořem. Množství ozonu se mění v závislosti na výšce. Maximální množství je ve výšce asi 22 km. Významná je vodní pára, která je soustředěna ve spodních 10 km.

tabulka 1

Plyn	Chemická značka	Objemová procenta
dusík	N ₂	78,1
kyslík	O ₂	20,9
argon	Ar	0,934
oxid uhličitý	CO ₂	0,031 4
neon	Ne	0,001818
helium	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
ozon	O ₃	0 až 0,000 007 (léto) 0 až 0,000 002 (zima)
oxid dusičitý	NO ₂	až 0,000 002
čpavek	NH ₃	stopy
oxid uhelnatý	CO	stopy
jód (páry)	J ₂	stopy

Charakteristickým rysem zemské atmosféry je pokles tlaku vzduchu s výškou. Vzduch ve spodních vrstvách je stlačován tíhnou vzduchu ležícího nad ním.

Atmosféra Země se podle různých hledisek dělí do několika vrstev:

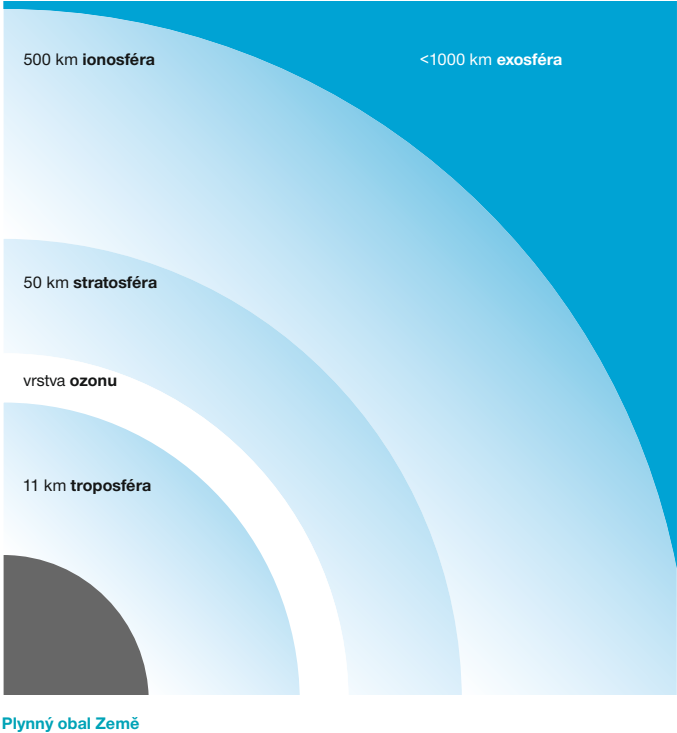
- podle průběhu teploty s výškou rozeznáváme **troposféru, stratosféru, mezosféru, termosféru** a **exosféru**,
- podle chemického složení dělíme atmosféru na **homosféru** a **heterosféru**,
- podle koncentrace atmosférických iontů na **neurosféru** a **ionosféru**.

Rozložení jednotlivých hlavních vrstev atmosféry uvádí tabulka 2 a obrázek.

Horní hranice celé atmosféry leží teoreticky tam, kde se odstředivá síla zemské rotace rovná zemské přitažlivosti. To odpovídá

výšce 28 000 km nad póly a 42 000 km nad rovníkem. Prakticky se však za horní hranici atmosféry považuje výška, v níž má atmosféra ještě měřitelnou hustotu a kde probíhají pozorovatelné fyzikální jevy. K těm patří např. **polární záře**, jejíž horní hranice dosahuje výšky 1000 až 1200 km. Z hlediska kosmonautiky se za horní hranici považuje výška okolo 20 000 km, kde hustota prostředí přestává být rovna hustotě meziplanetárního prostoru a kde se začíná projevovat počátek brzdicího účinku atmosféry na kosmické lodě letící z meziplanetárního prostoru k Zemi.

Pro sledování fyzikálních a chemických pochodů v atmosféře jsou výchozími veličinami záření, tlak, teplota, hustota, vlhkost a chemické složení vzduchu. Tyto základní



parametry spolu vzájemně souvisejí, definují stav a kvalitu ovzduší, a tím současně charakterizují zemskou atmosféru.

ENERGETIKA ATMOSFÉRY, ZÁŘENÍ

Celková energie atmosféry Země představuje ohromné číslo – můžeme ji odhadnout na $12, 21 \times 10^{23}$ J. V ročním průměru je příkon energie téměř konstantní. V kraších časových intervalech je příjem energie různý jak z hlediska časového, tak i prostorového rozložení.

Nejintenzivnějším energetickým zdrojem naší planety je sluneční záření.

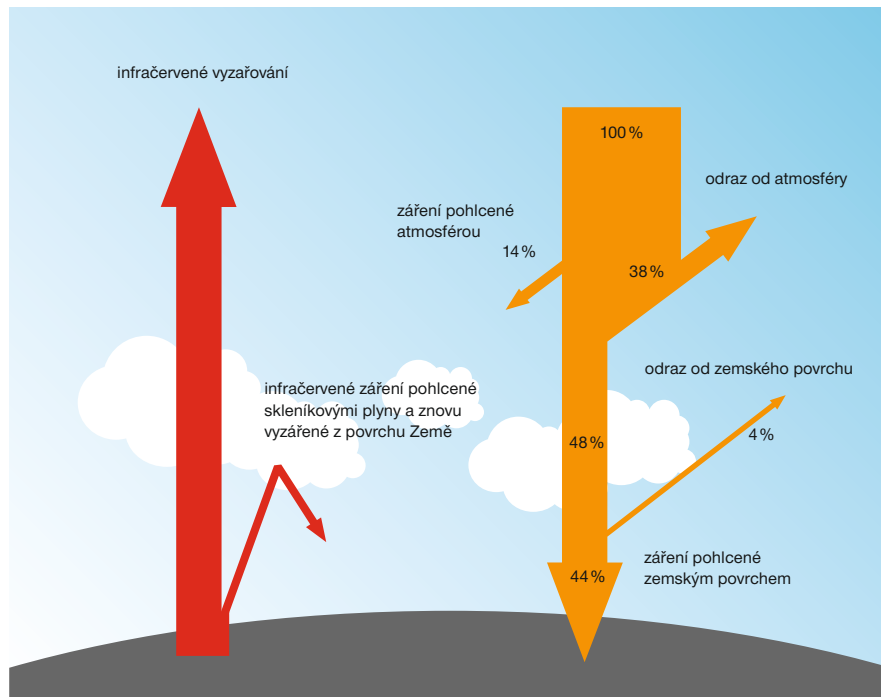
Slunce je původcem všech dějů v atmosféře a podstatně ovlivňuje život všech

tabulka 2

Název vrstvy nebo její části	Přibližná výška nad zemským povrchem (km)
troposféra	0 až 11
přízemní vrstva troposféry	0 až 0,1
vrstva tření	0,1 až 1,5
volná atmosféra	1,5 až 8
tropopauza	8 až 15
stratosféra	11 až 50
ozonosféra	25 až 40
stratopauza	50 až 60
mezosféra	60 až 78
mezopauza	78 až 80
termosféra	80 až 800
termopauza	800 až 1000
exosféra	více než 1000
homosféra	0 až 90
heterosféra	více než 90
neurosféra	0 až 60
ionosféra	60 až 500

organizmů na Zemi. Teplota povrchu Slunce je velmi vysoká, asi 6100 K. Proto asi 99 % jeho energie spadá do pásma krátkovlnného záření. Viditelné záření tvoří z jeho zářivé energie asi 48 %, infračervené 45 % a ultrafialové 7 %. Celkové množství energie slunečního záření dopadající za 1 sekundu na plochu 1 m² kolmou ke slunečním paprskům na horní hranici atmosféry se nazývá **solární konstanta** a má hodnotu okolo 1370 W · m⁻².

Zařízení, které přichází k zemskému povrchu přímo od Slunce a které dopadá ve formě rovnoběžných paprsků, se nazývá **přímé sluneční záření**. Část záření se však v atmosféře rozptýluje na molekulách vzduchu, na vodních kapičkách, ledových krystálcích, částech prachu apod. – to



Distribuce slunečního záření dopadajícího na Zemi a tepla vyzařovaného Zemi zpět do vesmíru

se nazývá **difuzní záření**. Difuzní záření vysílá nejen bezoblačná modrá obloha, ale také oblaka. Součet obou druhů dopadajícího záření je **globální záření**.

Z celého množství dopadající sluneční energie se 42 % odráží do světového prostoru (38 % odráží atmosféra, 4 % zemský povrch). Ze zbylých 58 % energie absorbuje (pohltil) atmosféra 14 %, zemský povrch 44 %.

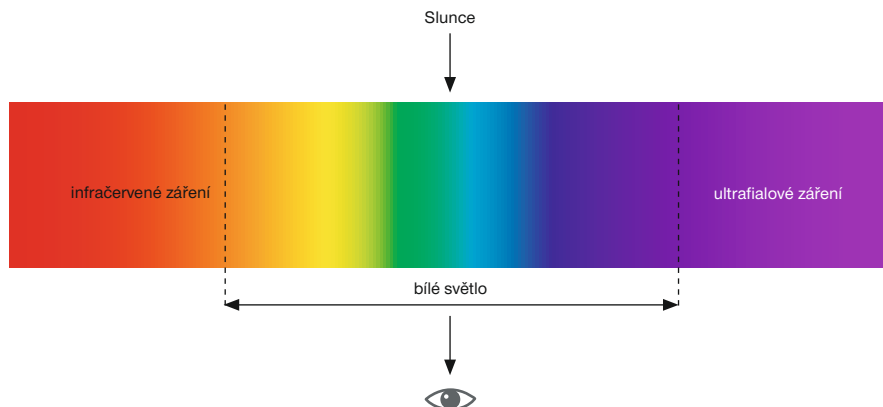
Sluneční záření, které se dostává až k zemskému povrchu, ohřívá povrch Země a od něho se potom ohřívají spodní vrstvy atmosféry. Povrch Země má samozřejmě neskonale nižší teplotu než povrch Slunce. Proto vyzařovaná energie z povrchu Země spadá do dlouhovlnného záření. (Čím je těleso teplejší, tím více se posunuje jeho zá-

ření ke kratším vlnovým délkám – ultrafialové záření, chladnější tělesa vyzařují v delších vlnových délkách – infračervené záření.)

Povrch Země odevzdává teplo do ovzduší i v noci. Jelikož v tomto případě chybí přímé sluneční záření, je výsledkem pokles teploty povrchu Země a následně také přilehlých vrstev vzduchu. Odevzdávání tepla zemským povrchem do okolí se nazývá **vyzařování**.

Zemský povrch tak přímo ovlivňuje tzv. **mezní vrstvu** atmosféry. Přenos tepla mezi zemským povrchem a atmosférou se uskutečňuje mnoha různými způsoby – molekulárním vedením, zářením, výparem a kondenzací a výměnou.

Výpar odnímá teplo zemskému povrchu, při kondenzaci se latentní (skryté) teplo znovu



Sluneční záření je složeno z elektromagnetických vln různých délek

uvolňuje a přispívá k ohřevu vzduchových vrstev. V případě, kdy se na zemském povrchu usazuje rosa nebo jinovatka, uvolňuje latentní teplo kondenzace nebo sublimace.

Tepelná vodivost atmosféry je menší než půdy, ale vzhledem k výrazně menší hustotě vzduchu je prakticky vodivější. Pokud by se teplo přenášelo pouze molekulárním vedením, dosáhne polední zvýšení do výše asi prvního poschodí k večeru. Vzhledem k existenci výměny, způsobené mechanikou i termickou turbulencí, však existuje denní chod teploty i ve výšce 1000 m nad povrchem Země.

Tepelná energie vyzařovaná Sluncem je nepřímou hlavní hybnou silou pro všechny jevy, které v zemské atmosféře probíhají. Základními příčinami sezónních a geografických změn povětrnostních podmínek jsou denní rotace Země kolem vlastní osy, pohyb Země kolem Slunce, naklonění zemské osy a nestejné ohřívání zemského povrchu.

TEPLOTA VZDUCHU

Teplota je forma energie, teplota je mírou tepla. V meteorologické praxi se teplota udává ve stupních Celsia. Jen v některých anglosaských zemích (např. v USA) se stále

ještě používají stupně Fahrenheita, což vede mnohdy k nedorozumění, které je velmi nepříjemné zvláště v letecké službě.

Celsiova stupnice má bod tání při 0 °C a bod varu při 100 °C. Fahrenheitova stupnice má bod tání při +32 °F a bod varu +212 °F. Vztah mezi oběma stupnicemi není úplně jednoduchý:

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32) \text{ nebo } ^{\circ}\text{F} = 9/5 (^{\circ}\text{C} + 32)$$

V teoretické fyzice a meteorologii se používá absolutní teplota udávaná ve stupních Kelvina [K]. V této stupnici je bod tání 273,15 K a bod varu 373,15 K. 0 K (tzv. **absolutní nula**) nebyla v pozemských podmínkách zatím dosažena. Velikostí se jeden stupeň podle Celsia rovná jednomu stupni podle Kelvina.

Teplotou vzduchu se v meteorologii rozumí teplota ve výšce 2 m nad povrchem země měřená v meteorologické budce s přesností na jednu desetinu stupně. Měření teploty vzduchu se na meteorologických stanicích provádí staničními rtuťovými teploměry. Teploměr musí být instalován tak, aby nebyl vystaven přímému slunečnímu záření a aby byl chráněn proti vlhkosti, nejlépe v me-

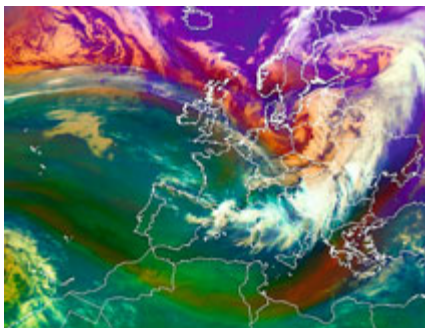
eteorologické budce. Osluněný teploměr ukazuje teplotu teploměru, tedy mnohem vyšší než je teplota vzduchu. Naopak teploměr s mokrou nebo vlhkou kuličkou ukazuje nižší teplotu v důsledku odnímání tepla při odpařování. Na meteorologických stanicích se běžně měří maximální a minimální denní teplota vzduchu a přízemní minimum (ve výšce 5 cm nad zemí).

Pro zajímavost můžeme uvést, že nejvyšší denní teplota na území dnešní České republiky byla naměřena 27. 7. 1983 v Praze-Uhřetěvesi (277 m n. m.) +40,2 °C. Nejnižší 11. 2. 1929 v Litvínovicích u Českých Budějovic (391 m n. m.) -42,2 °C.

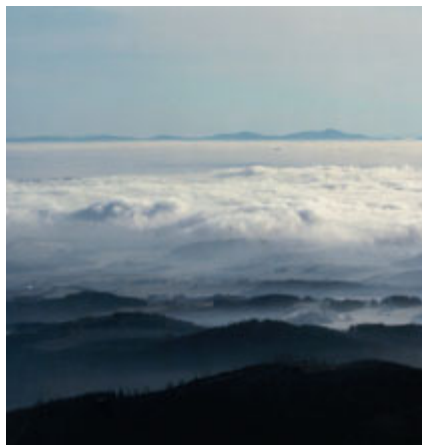
HUSTOTA VZDUCHU

Hustota vzduchu je podíl vzduchu a objemu, který vzduch zaujímá. Vyjadřuje se obvykle v $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Za stejných podmínek je hustota vlhkého vzduchu vždy menší než hustota suchého vzduchu. Hustota vzduchu při teplotě 0 °C a tlaku 1 013,27 hPa je $1,293 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

S výškou se hustota vzduchu zmenšuje. Hustota vzduchu roste se zvyšováním tlaku a snižováním teploty. Nejspodnější vrstvy vzduchu, které jsou pod tlakem celé tloušťky atmosféry, mají největší hustotu.



Cyklona „Kyrill“ nad západní a střední Evropou



Inverzní situace



Rostliny vydechují velké množství vlhkosti

Ve studeném vzduchu tlak s výškou klesá rychleji než v teplém vzduchu.

Při stejném tlaku je hustota vzduchu nepřímo úměrná teplotě vzduchu, tzn. s rostoucí teplotou klesá. Proto v troposféře je všeobecně v zimě větší hustota vzduchu než v létě.

Vlhký vzduch má při stejném tlaku a teplotě menší hustotu než vzduch suchý.

VLHKOST VZDUCHU

Vlhkost vzduchu je parametr, který popisuje množství vodní páry ve vzduchu. S její přítomností jsou spojeny velmi významné jevy – tvoření oblačnosti, srážky, mlhy apod. Vodní pára se dostává do atmosféry vypařováním vody z oceánů, moří, jezer, rybníků, řek a také z povrchu země a rostlinného porostu. Největší množství vodní páry je při zemi, s výškou vodní páry rychle ubývá. Například ve výšce okolo 5500 m nad zemí je tlak vzduchu poloviční než při zemi, ale tlak vodních par tvoří pouze 1/10 tlaku vodních par při zemi.

Množství vypařené vody je tím větší, čím je vyšší teplota vypařujícího se povrchu, čím je sušší vzduch a čím je rychlejší proudění, které způsobuje promíchávání vzduchu.

Proto má vypařování výrazný denní chod; největší je v poledne a nejmenší v noci.

Určitý objem vzduchu může přijmout jen určité množství vodní páry. To závisí na teplotě. S rostoucí teplotou roste i maximální množství vodní páry, které daný objem vzduchu může přijmout. Jestliže vzduch obsahuje maximální množství vodní páry, které může při dané teplotě pohltit, je touto vodní parou nasycen. V meteorologii se to vyjadřuje pomocí několika druhů vlhkostních charakteristik:

Absolutní vlhkost je množství vodní páry v g/m^3 vzduchu. Ta se v našich zeměpisných šířkách pohybuje v průměru okolo 5 g/m^3 , v létě může dosáhnout až 15 g/m^3 . Např. v Antarktidě dosahuje velmi nízkých hodnot, v průměru jen $0,02 \text{ g/m}^3$.

Tlak vodní páry je tlak, který působí vodní pára obsažená ve vzduchu. S rostoucím množstvím vodních par ve vzduchu a rostoucí teplotou tlak vodní páry roste.

Relativní vlhkost je poměr množství vodní páry obsažené ve vzduchu k množství vodní páry, které je potřeba k nasycení vzduchu při dané teplotě v procentech. Je-li relativní vlhkost 100 %, je vzduch parou nasycen. Nejvyšší průměrná roční

relativní vlhkost v České republice (84 %) byla naměřena na meteorologické stanici Praděd. V pouštních oblastech se pohybuje okolo 30 %.

Teplota rosného bodu (rosný bod) je teplota, na kterou se musí vzduch ochladit, aby dosáhl stavu nasycení. Je-li vzduch nasycen, pak teplota rosného bodu je rovna teplotě vzduchu, např. v mlze.

Vlhkost vzduchu se měří nepřímými metodami. V meteorologické službě se nejčastěji měří pomocí psychrometru a vlasového vlhkoměru, popř. hydrografem, který umožňuje sledovat změny vlhkosti s časem. Mnohem jednodušší, zato však roztomilejší, bývá tzv. povětrnostní domeček, se kterým se můžeme dodnes často setkat za okny domků nebo bytů. Všichni ho jistě znáte – jestliže je venku panenka, má být hezky a je-li venku panáček, bude prý pršet. Ve skutečnosti jde o jednoduchý vlhkoměr, který měří vlhkost vzduchu.

TLAK VZDUCHU

Tlak vzduchu, též atmosférický tlak, je síla vyvolaná tíhou vzduchového sloupce, který sahá od výšky měření až po horní hranici atmosféry, působící v daném místě atmosféry



Co dokáže udělat vichřice se stožáry vysokého napětí



kolmo na jednotkovou plochu. Přízemní tlak vzduchu je tedy vyvolán tíhou sloupce vzduchu mezi povrchem země a horní hranicí atmosféry. Je-li vzduch v klidu, je tlak ve všech směrech stejný. Tento tlak nazýváme tlakem **statickým**. Je-li vzduch v pohybu, působí na jednotkovou plochu umístěnou proti směru proudění přídavný tlak. Tento tlak nazýváme tlakem **dynamickým**. Meteorologie se zabývá z větší části statickým tlakem.

Jednotkou tlaku je 1 Pa (pascal). Je to síla o velikosti 1 N (newton), která působí na plochu 1 m². Tato jednotka je velmi malá, a proto se v meteorologii používá jejího násobku. Tlak vzduchu vyjadřujeme v hPa (hektopascalech), což je stonásobek základní jednotky Pa. Průměrná hodnota tlaku na hladině moře na 45. stupni severní šířky při teplotě 15 °C je 1013,27 hPa.

Tlak vzduchu je základní meteorologický prvek. Na velikost tlaku vzduchu má vliv teplota vzduchu, obsah vodních par, nadmořská a zeměpisná šířka. Se zvyšující se nadmořskou výškou tlak vzduchu klesá. Pokles je v přízemní vrstvě asi o 1 hPa na každých 8 m výšky. V chladném vzduchu je pokles tlaku s výškou větší než v teplém vzduchu, protože chladný vzduch je těžší než teplý.

V meteorologických stanicích se tlak vzduchu měří standardním rtuťovým tlakoměrem na principu vytvoření rovnováhy vzduchového sloupce (tlaku vzduchu) a tíhou rtuťového sloupce. V domácnostech se převážně používá aneroidů. Ty měří stlačení (tlakem vzduchu) pružných stěn kovové trubičky, ze které je vyčerpán vzduch. Na aneroidech jsou většinou nápisy: bouře, déšť, proměnlivo, pěkné počasí a podobně. Předpovídat podle nich počasí je však jeden z nejrozsáhlejších meteorologických omylů. Soudí se, že při vysokém tlaku bude pěkné počasí a při nízkém tlaku tzv. špatné počasí. To však často není pravda. Více než na absolutní velikosti tlaku vzduchu záleží na jeho změnách.

OBLAKA, OBLAČNOST, MLHY

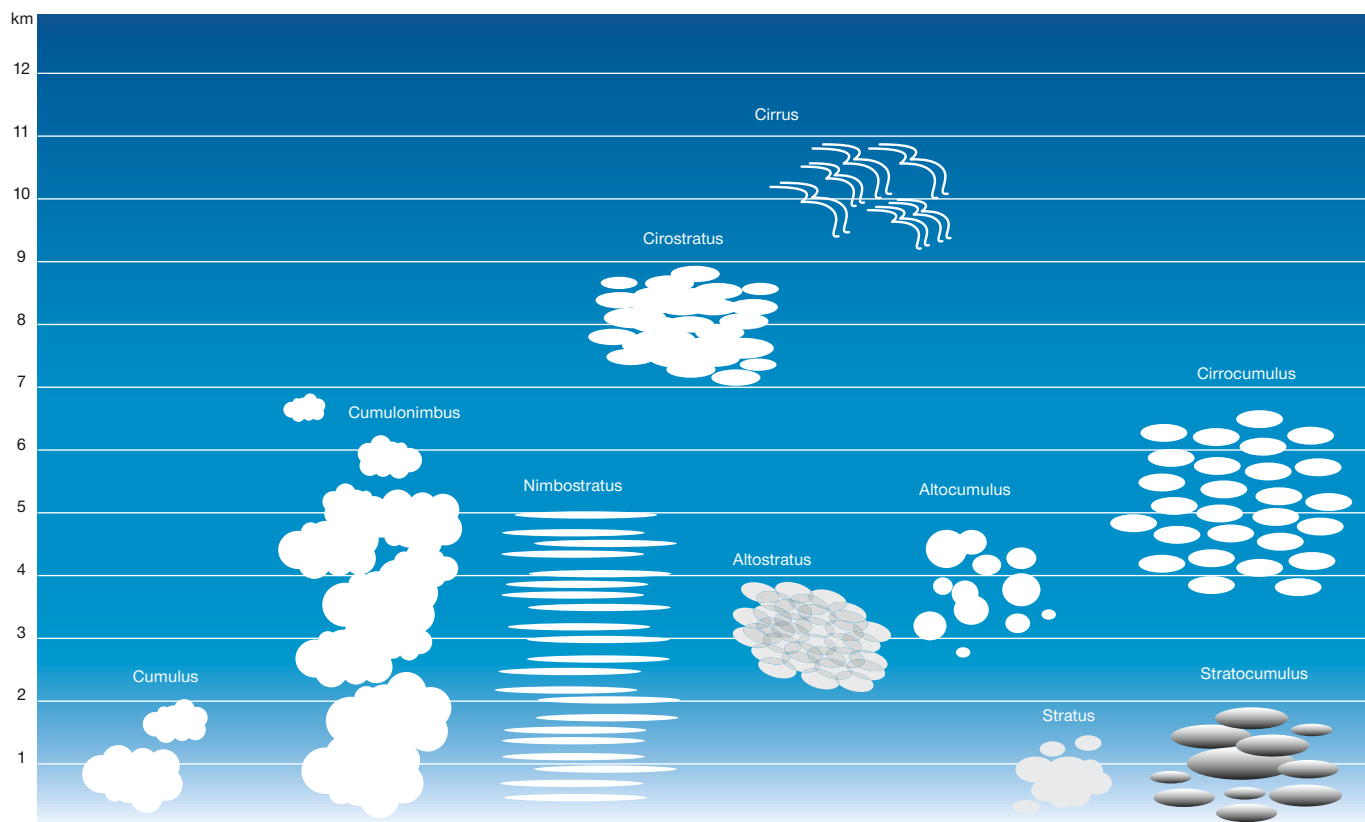
Oblaka jsou viditelné soustavy částic vody nebo ledu v atmosféře, které zároveň mohou obsahovat i částice prachu, průmyslových exhalací apod.

Mlha je v podstatě oblakem dotýkajícím se zemského povrchu. Všechny druhy oblačnosti (včetně mlh) jsou produktem kondenzace nebo sublimace vodních par v ovzduší. Podmínkou jejich vzniku je dosažení stavu nasycení ovzduší vodní parou.

Oblačnost je nepřesné souhrnné označení pro skupinu určitých oblaků, jinak se pod pojmem **oblačnost** rozumí stupeň pokrytí oblohy oblaky. Oblačnost nepřímo udává trvání slunečního svitu. Podle tvaru rozlišujeme oblaka kupovitá a vrstevnatá.

Kupovitá oblačnost vzniká vlivem intenzivních, ale lokálně omezených, stoupavých proudů teplejšího vzduchu. **Vrstevnatá oblačnost** vzniká vlivem slabých, ale rozsáhlých výstupních pohybů. Při tomto výstupu (např. podél frontálního rozhraní) se tvoří celý systém vrstevnaté oblačnosti počínaje vysokou (cirrus, cirrostratus), pak střední (altostratus) a konče nízkou oblačností (stratus, nimbostratus).

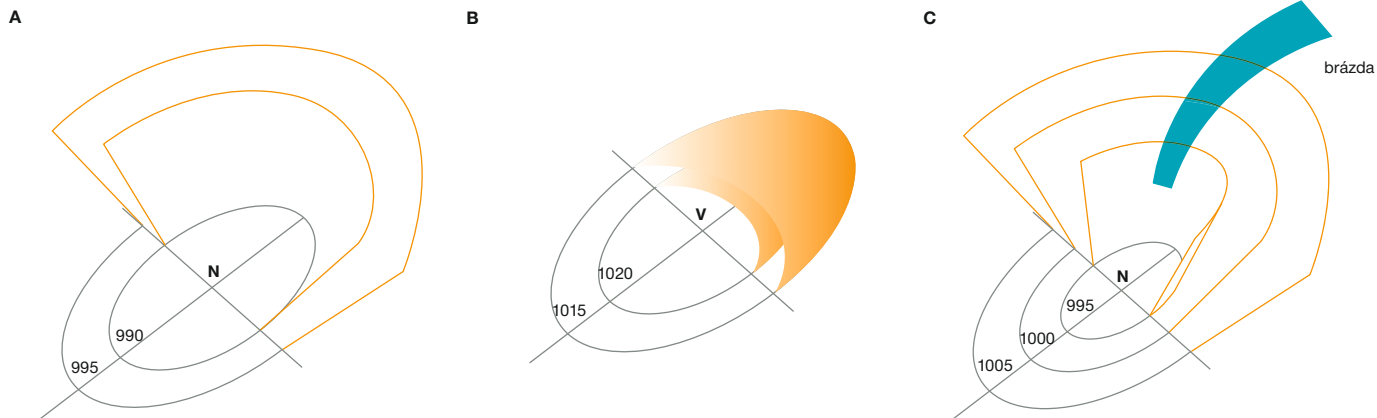
Podle vzniku a vývoje rozeznáváme oblaka frontální, nefrontální, kupovitá, vrstevnatá, orografická, průmyslová apod. Podle jejich složení vodní, ledová a smíšená. Průmyslová oblaka jsou velmi zvláštním druhem oblaků. Jejich vznik a vývoj totiž souvisí s umělým uvolňováním odpadního tepla, vodní páry, popř. různých znečišťujících příměsí při průmyslové činnosti. Známá jsou např. oblaka typu cumulus, která vznikala v severozápadních Čechách nad elektrárnami v Tušimicích a Pruněřově v době, kdy ještě nebyly vybaveny odlučovací popílkou.



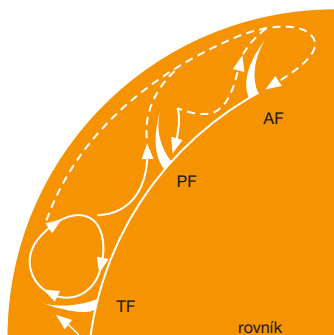
Druhy oblaků

Podle celkového vzhledu dělíme oblaka na deset základních typů:

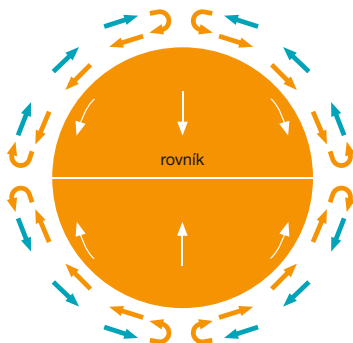
- 1. Cirrus** – jemná vlákna nebo bílé plošky nebo pruhy, které nezeslabují sluneční, ani měsíční světlo. Jsou složeny z ledových krystalků, ale nevypadávají z nich srážky. Bývají příznakem blízkosti atmosférické fronty.
- 2. Cirrocumulus** – menší nebo větší, tenké vrstvy bílých oblaků bez vlastního stínu. Jsou zpravidla oblaky ledovými, někdy však mohou obsahovat i přechlazené vodní kapky. Jejich výskyt souvisí s atmosférickými frontami, zvláště se studenými. Nevypadávají z nich srážky.
- 3. Cirrostratus** – průsvitný bělavý obláčný závoj, který úplně nebo částečně zakrývá oblohu a dává vznik halovým jevům. Jsou oblaky ledovými a nevypadávají z nich srážky. Je to typická součást obláčných systémů atmosférických front, zejména teplých.
- 4. Altostratus** – skupiny nebo vrstvy bílých oblaků, majících vlastní stíny. Skládají se z malých obláčných částí, které jsou navzájem oddělené. Jsou vodními nebo smíšenými oblaky. Často se vyskytují ve studeném vzduchu před nebo ještě častěji po přechodu studeného vzduchu.
- 5. Altostratus** – šedavá nebo modravá obláčná vrstva s vláknitou strukturou pokrývající úplně nebo částečně oblohu. Oblak bývá často tak tenký, že lze pozorovat obrysy slunce. Je součástí teplých i studených front. Srážky u nás v teplé polovině roku obvykle nevypadávají.
- 6. Nimbostratus** – šedá, často tmavá hustá obláčná vrstva, která vlivem vypadávání trvalých srážek (déšť nebo sníh) má matný rozplývavý vzhled. Slunce není vidět. Pod touto vrstvou nízké roztrhané oblaky „špatného počasí“. Bývají většinou smíšenými mraky. Mají značný vertikální rozsah. Jsou součástí všech



Vzduchové hmoty. (A) tlaková níže (cyklona), (B) tlaková výše (anticyklona), (C) brázda nižšího tlaku, (D) hřeben vyššího tlaku, (E) sedlo



Směr proudění v okolí rovníku



Teoretická cirkulace ovzduší na neotáčející se Zemi

typů atmosférických front a vyskytují se v oblastech výškových cyklón a brázd nízkého tlaku vzduchu.

7. **Stratocumulus** – šedé nebo bělavé menší nebo větší skupiny oblaků, které mají tmavá místa. Skládají se z částic podobných dlaždicím, oblázkům apod. Jsou vodní nebo smíšené, mohou z nich vypadávat slabší srážky až na zemský povrch. Bývají často příznakem rozpadu oblačnosti, zvláště kupovitě.
8. **Stratus** – šedavá oblačná vrstva s jednotvárnou základnou, z níž vypadává mrholení, ledové jehličky nebo sněhová zrna.

Někdy má podobu roztrhaných chuchvalců. V teplé polovině roku je vodní, v zimní polovině často obsahuje ledové krystalky. Strukturou se neliší od mlhy.

9. **Cumulus** – osamocený oblak, hustý, s ostře ohraničenými okraji podobný „karfiolu“. Základna bývá tmavá a téměř vodorovná. Vertikální rozsah oblaku bývá velmi rozdílný. Vzniká většinou v důsledku termické konvekce. Je větší než srážek.
10. **Cumulonimbus** – mohutný a hustý mrak velkého vertikálního rozsahu v podobě hor nebo obrovských věží. Jeho

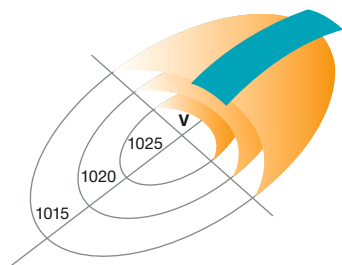
vrcholy se často rozšiřují do podoby kovadin. Jsou na něj vázány bouřky. Vertikální rozsah je několik kilometrů, vrcholky mohou prorůstat i tropopauzou. Většinou vznikají uvnitř vzduchových hmot nebo na studených frontách, na teplých frontách v ranních hodinách. V oblaku se vyskytuje velké centrum záporného elektrického náboje v dolní části oblaku a kladného náboje v horní části oblaku.

Oblaka cirrus, cirrocumulus a cirrostratus jsou představiteli oblaků vysokého patra. V polárních oblastech se vyskytují ve výškách 3 až 8 km, ve středních zeměpisných šířkách 5 až 13 km a v tropických oblastech od 6 do 18 km.

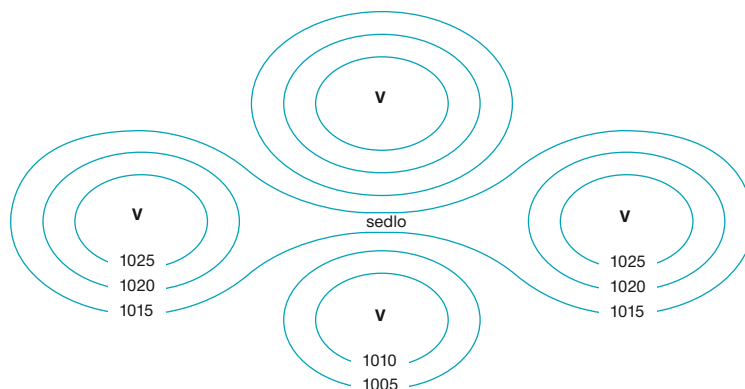
Oblaka altocumulus a altostratus jsou představitelé středního patra. Ta se vyskytují v polárních oblastech od 2 do 4 km, ve středních zeměpisných šířkách do 7 km a v tropických oblastech až do 8 km.

Oblaka stratocumulus, stratus a cumulus jsou představitelé nízkého patra. Vyskytují se převážně do výšky asi 2 km. Kumulonimbus se vyskytuje napříč všemi výškovými patry a nimbostratus v dolním a středním patře.

D



E



PROUDĚNÍ VZDUCHU, ATMOSFÉRICKÉ ÚTVARY

Vzduch v atmosféře je jen zřídka v klidu. Pohyb vzduchu v atmosféře vzhledem k zemskému povrchu nazýváme vítr. Obvykle tak chápeme vodorovnou složku tohoto pohybu. U větru se odděleně sleduje směr a rychlost. Směrem větru se rozumí směr odkud vítr vane. Za přízemní vítr se v meteorologii považuje vítr ve standardní výšce 10 m nad zemí, kde proudění vzduchu není bezprostředně narušováno terénními překážkami. Vítr vzniká mezi dvěma místy s odlišným tlakem vzduchu. Částice vzduchu jsou uváděny do pohybu ve směru od vyššího tlaku k tlaku nižšímu. Na vzduchové částice však působí ještě další síly: síla zemské rotace, odstředivá síla a na částice v blízkosti zemského povrchu též síla tření.

Všeobecná cirkulace (proudění) vzduchu vzniká v podstatě v důsledku nerovnoměrného slunečního záření v různých zeměpisných šířkách, zemské rotace, nerovnosti zemského povrchu a jeho rozdělení na pevniny a oceány. Teplotní rozdíly mezi póly a rovníkem způsobují, že tepelná energie pohání horizontální a vertikální atmosférickou cirkulaci. Teplý vzduch u rovníku

stoupá, ve vysokých hladinách se pohybuje směrem k pólům a nahrazuje ho studený vzduch od severu, který se v nízkých hladinách pohybuje od pólů směrem k rovníku.

Popsaný základní systém proudění je komplikován otáčením zeměkoule. Na severní polokouli se směr proudění postupně stáčí ve výšce doprava (na jižní polokouli doleva) a v zeměpisných šířkách 30 až 35 stupňů vane místo k severu (resp. k jihu) na východ (západní větry). K tomuto jevu dochází v subtropích, kde v důsledku nahromadění vzduchu vzniká subtropický pás vysokého tlaku. Na rovníku, odkud vzduch odtéká, vzniká pás nízkého tlaku vzduchu. Mezi subtropickou a polární oblastí vysokého tlaku vzduchu leží pásmo poměrně nízkého tlaku vzduchu v zeměpisných šířkách 60 až 65 stupňů. Proto intenzivní cyklonální činnost je nejčastěji právě v tomto pásmu.

Při zemském povrchu je proudění opačné. V pásmu tropické cirkulace při zemi vanou větry od subtropů k rovníku a mají směr od severovýchodu (na jižní polokouli od jihovýchodu). Tyto větry nazýváme **pasáty**, ve vyšších hladinách **antipasáty**. Pasáty a antipasáty tvoří uzavřenou cirkulaci.

V mírných šířkách severní polokoule mezi 30. a 60. rovnoběžkou v blízkosti zemského povrchu převládá jihozápadní proudění, které má původ v tropickém maximu tlaku vzduchu a směřuje k oblasti nízkého tlaku vzduchu v šířkách 60 a 65 stupňů. V polárním pásmu mezi pólom a 60. rovnoběžkou se vyskytují severovýchodní větry, směřující z polární oblasti vysokého tlaku k té samé oblasti nízkého tlaku vzduchu na 60. až 65 rovnoběžce.

Ve vyšších výškách, kde již nepůsobí vliv tření o zemský povrch, klesá tlak subtropického maxima postupně k pólům, a proto v důsledku rotace zeměkoule probíhá proudění od západu k východu.

Ve skutečnosti však nejsou směry větru stálé a uvedené směry větru lze považovat jen za převládající.

Při hodnocení stavu počasí se dají určit oblasti o rozloze i několika tisíc kilometrů čtverečních, ve kterých je přibližně stejné počasí. V dané oblasti je jedna vzduchová hmota stejných fyzikálních vlastností. V podstatě rozlišujeme tři základní vzduchové hmoty, které mají zásadní význam pro vytváření počasí v mírných šířkách – arktickou, polární a tropickou vzduchovou



Polární záře



Klasický bleskový výboj

hmotu. Pro počasí ve střední Evropě má největší význam polární vzduchová hmota – rozlišujeme mořskou a kontinentální. V jednotlivých ročních dobách se projevují různě. Kontinentální vzduchová hmota přichází od východu. V létě přináší oteplení, neboť v Rusku je zemský povrch více prohřátý než ve střední Evropě. Naopak v zimě přináší velké ochlazení, neboť zemský povrch v Rusku je velmi prochlazen; nad touto částí pevniny se vyskytuje velká tlaková výše. Působení mořského polárního vzduchu je opačné. V zimě, kdy mořský povrch je teplejší než pevnina, přináší oteplení a v létě naopak ochlazení. Mezi jednotlivými vzduchovými hmotami vzniká rozhraní, kde se vzduchové hmoty míchají. Tato přechodová vrstva je tlustá jen několik set metrů. Rozhraní není svislé, protože studený vzduch vniká ve tvaru klínu pod teplý vzduch, vytlačuje jej od země a nutí jej k výstupu po šikmém rozhraní. Tato přechodová vrstva se nazývá frontální plochou, nebo zkráceně **frontou**.

Jestliže teplý vzduch postupuje větší rychlostí a vytlačuje před sebou studený vzduch, vytváří se **teplá fronta**. Postupuje-

li rychleji studený vzduch vytlačuje před sebou teplý vzduch, vytváří se **studená fronta**.

V souvislosti s výstupnými pohyby vzduchu dochází ke kondenzaci vodní páry. Na teplé frontě se vytváří mohutný systém vrstevnaté oblačnosti, která sahá stovky kilometrů před frontální čáru. Srážky (déšť, sněžení, mrholení) mají převážně trvalý charakter. Šířka pásma je 300 až 400 km. Předzvěsti teplé fronty jsou vysoká oblaka, která postupně zatahují oblohu. Oblaka postupně houstnou a klesají. Na studené frontě vzniká převážně kupovitá oblačnost s přeháňkami a bouřkami.

ENERGETICKÉ „VÝSTŘELKY“ POČASÍ

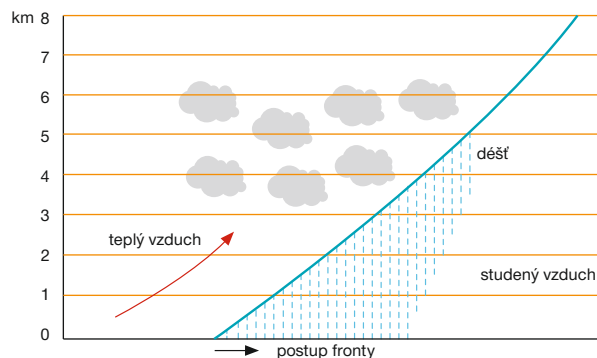
Energie zemské atmosféry je obrovská. Pokud z různých příčin dojde v některých oblastech k jejímu enormnímu nahromadění, nastane její náhlé vyrovnání s okolím. Tak dochází k některým meteorologickým jevům, jako jsou např. bouřky, tornáda, tajfuny, cyklony, popř. polární záře, Eliášův oheň apod.

Bouřka je soubor elektrických, optických a akustických jevů vznikajících mezi oblaky navzájem a mezi oblaky a zemí. Je vázána na výskyt kumulonimbů.

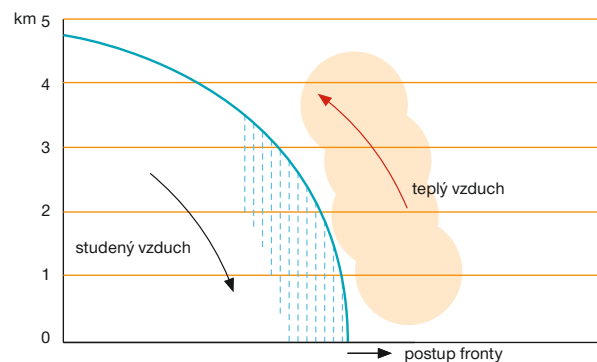
Projevy bouřky jsou blesk a hrom. **Blesk** je elektrický výboj, který vzniká mezi centry kladných a záporných nábojů jednoho nebo více oblaků, mezi oblakem a zemí a vzácně mezi oblakem a stratosférou. Účinky blesku jsou především elektrické a z nich vyplývají účinky světelné, akustické, tepelné apod. Blesk se skládá z 1 až 24 dílčích výbojů, trvání celého výboje je 10^{-3} až 2 s, amplituda rázové složky kolísá v rozmezí 10^2 až $3 \cdot 10^5$ A. Mezi blesky do země převládají ty, které přinášejí směrem dolů záporný elektrický náboj. Blesky jsou zdrojem radiových signálů, tzv. atmosfériků, které při výskytu bouřek ruší poslech rozhlasu.

Hrom je průvodní jev výboje atmosférické elektřiny. Jeho zdrojem je tlaková vlna, která vzniká náhlým zvětšením objemu vzduchu v kanálu blesku při jeho ohřátí až na teplotu asi 20 000 K. K pozorovateli dochází zvuk z různých kanálů blesku, popř. po odrazech od oblaku a zemského povrchu, a proto hrom může trvat i několik sekund. Akustické

Teplá fronta

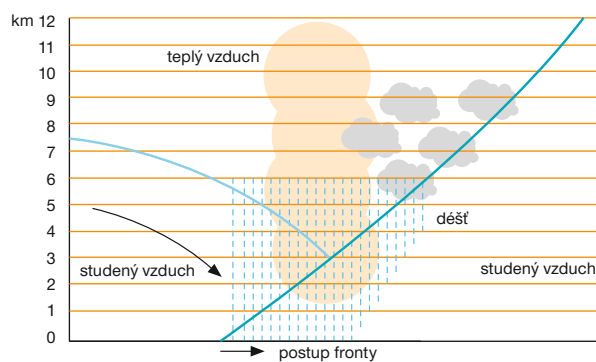


Studená fronta



Jak vznikají fronty

Okluzní fronta



spektrum se pohybuje od 10 Hz do 3 kHz. Hrom je obvykle slyšet ze vzdálenosti 15 až 20 km.

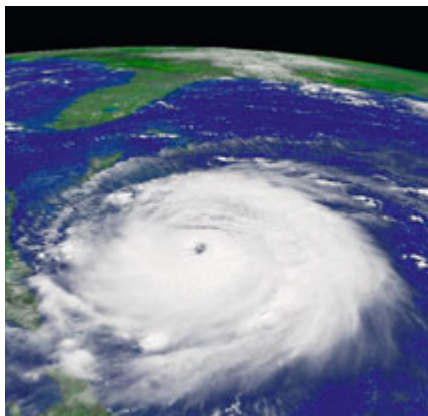
Vzácným jevem vyskytujícím se při bouřkách je **kulový blesk**. Mívá sférický tvar o průměru od 10–20 cm, v extrémním případě až 1,5 m. Projevuje se světélkováním v různých barvách, volně se vznáší ve vzduchu nebo klesá shora dolů. Někdy mizí explozí, jindy se zcela tiše rozplyne. Do budov vniká nejčastěji komíny, otevřenými okny nebo dveřmi a má destruktivní účinky. Při dotyku vznikají popáleniny. Původ kulového blesku není dosud zcela objasněn, většinou se dnes soudí, že jde o určitou formu existence plazmy v atmosféře.

Dalšími projevy atmosférické elektřiny jsou **hrotové výboje**. Ty jsou doprovázeny i zvukovými efekty, praskáním a někdy dobře patrnými zrakovými vjemy, jiskřením, sršením kovových hrotů, špiček stožárů, věží apod. Lidově se tomuto úkazu říká oheň svatého Eliáše. Projevuje se viditelným světelným zářením doprovázeným praskáním. Vzniká nejčastěji pod kumulonimbem na přirozených nebo umělých hrotech nebo i na vrcholcích hor a stromů. Vzácně se stává, že toto světelné záření je viditelné za bouřky okolo naježených vousů a vlasů osob a na vrcholcích hor.

Na principu odsávání elektrického náboje z dolní části bouřkových oblaků prostřednic-

tvím hrotových výbojů byl v podstatě založen již polovinou 18. století bleskosvod **Prokopa Divíše**.

Projevem elektricky nabitých částic ve vysoké atmosféře je populární úkaz **polární záře**. Obvykle vzniká ve výškách od 80 do 500 km nad povrchem země – v ionosféře. Bývá pozorován v noci v podobě barevných oblouků, draperií, závěsů apod. Vyskytuje se nejčastěji v období intenzivní sluneční činnosti při magnetických bouřkách přibližně podél kružnice vedené po zemském glóbu v úhlové vzdálenosti asi 20–25 stupňů od magnetických pólů Země. Polární záře mají složité spektrum, v jasných zářích je nejintenzivnější zelená nebo červená barva.



Hurikán se blíží k Floridě



Atmosférické jevy dokáží napáchat závažné škody v přírodě i na majetku



Příčinou je vtahování korpuskulárního záření Slunce do magnetického pole Země, kde ionizuje atmosférické částice, excituje atomy a molekuly a vyvolává tak světelné efekty.

V pásmu vzdáleném od rovníku 5 stupňů a sahajícím do 20 stupňů na obou polokou-
lích vznikají tropické **cyklony**. Podle místa vzniku mají různé názvy, přičemž se vždy jedná o jeden a tentýž meteorologický jev. Nad severní částí Atlantského oceánu, často v Mexickém zálivu, se vyskytují **hurikány**, nad severními oblastmi Indického oceánu vznikají **cyklony**, nad Jihočínským mořem a nad Tichým oceánem od Filipín k ostrovu Guam se vyskytují **tajfuny**, přímo na Filipínách se jim říká **baguios**. Každá tropická cyklona zpočátku postupuje v pasátovém proudění na severní polokouli na severozápad a na jižní polokouli na jihozápad. Na rozdíl od mimotropické cyklony má menší rozměry, průměr jen několik set kilometrů, ale podstatně větší tlakový gradient. Bývá doprovázena vydatnými přívalovými dešti a silným větrem ničivého účinku. Naopak v oku cyklony o průměru několika desítek kilometrů se vyskytuje jasno se slabým větrem. Oko tropické cyklony je malá oblast ve středu tropické cyklony

o průměru 20 až 30 km, v níž probíhají sestupné proudy vzduchu, které zabraňují kondenzaci vodních par. Mohutná kupovitá oblačnost v okolí obklopuje oko v podobě obrovského amfiteátru.

V našich mírných šířkách se též vyskytují podobné jevy, ale ve značně zmenšeném měřítku, i když někdy se značnými destrukčními účinky. Příkladem může být tromba, která vznikla pod cumulonimbem v Lanžhotě 26. 5. 1994. Během 3 až 10 minut způsobila velké škody na budovách a porostech v pruhu širokém 300–600 m. Někteří pozorovatelé tvrdí, že viděli dokonce dva víry současně, čímž by se mohl vysvětlit tak široký pás škod. Tromba je vír v atmosféře s jinou než horizontální osou. V průměru má řádově jednotky nebo desítky, výjimečně i stovky metrů. Tvoří se v horkém labilním vzduchu a je vázán na cumulonimbus. Rotace víru je velká, až 100 m.s^{-1} . Vír se stává viditelným jako tuba ve tvaru nálevky nebo sloniho chobotu. Vzduch ve víru rotuje proti směru hodinových ručiček.

Podobným jevem, nikoli však vírem, je **hůlava**. Jde o náhlé zvýšení rychlosti větru, který je značně nárazový a často mění směr, což je většinou způsobeno přibliž-

váním bouřky nebo silné přeháňky, kdy intenzivní srážky snižují základny oblaků a obloha nabývá typického tmavošedého vzhledu.

NĚKTERÉ METEOROLOGICKÉ OMYLY A POVĚRY

V souvislosti s počasím a jeho předpovídáním se ve veřejnosti traduje řada pověr a omylů. Mezi ně například patří:

1. Každý meteorolog předpovídá počasí.

Meteorologie není jen vědou o předpovídání počasí, ale vědou o zemské atmosféře. Předpovídání počasí patří k hlavním úkolům jen některých oborů meteorologie.

2. Počasí předpovídají družice. Ve skutečnosti je meteorologická družice jen prostředkem ke stanovení správné diagnózy příčin vývoje atmosférických dějů, bez níž není možné vypracovat dobrou předpověď. Tu však musí udělat meteorolog sám. Velký význam družic spočívá ve sledování stavu a vývoje počasí z méně dostupných míst zemského povrchu, jako jsou oceány, pouště, polární oblasti apod.

3. Počasí předpovídají počítače. Pomocí počítačů se na základě matematických modelů vypracovávají předpovědní pole

tlaku vzduchu, teploty srážek apod. Úspěšnost těchto předpovědí není dostačující, byť se stále zlepšuje. Modely vycházejí z řady předpokladů různých pochodů v atmosféře, které však platí je za určitých zjednodušujících podmínek a slouží stejně jako údaje z družic pouze jako vstupní podklady. Vlastní vypracovávání předpovědi závisí na zkušenosti a znalosti meteorologa.

4. Stoletý kalendář předpovídá počasí na sto let. Předpokládá se, že počasí se za sto let opakuje. To je velký omyl.

5. Jaderné výbuchy ovlivňují počasí. Účinek jaderných výbuchů prováděných na zemském povrchu nebo v atmosféře má vliv pouze na nejbližší okolí výbuchu, ale energie uvolňovaná při výbuších je o několik řádů menší, než energie udržující všeobecnou cirkulaci atmosféry, která je příčinou počasí a jeho změn.







Doba páry na kolejích je minulostí

ELEKTRICKÁ DOPRAVA

Zatímco v průmyslu a v domácnostech elektřina nad jinými druhy energie hladce zvítězila, v dopravě se uplatnila ve větší míře prakticky jen na kolejích. Po stoletém vývoji slaví zejména v Evropě elektrické železnice triumfy jak co do rychlosti, tak hospodárnosti a čistoty provozu. Na silnicích a v ulicích měst se postupně prosazuje v podobě elektromobilů, proti spalovacím motorům automobilů však zatím nemá výraznou šanci. Motorová vozidla si potřebné palivo vozi s sebou ve svých nádržích, a proto se – stejně jako letadla a lodě – těší plné svobodě pohybu. Trochu jinak je to v případě elektrické dopravy.

ŠANCE ELEKTRICKÉ DOPRAVY

Elektrické vlaky, tramvaje, metro a trolejbusy jsou od svého zrodu připoutány k trolejím či napájecím kolejnicím. Účinnější a lehčí akumulátory nebo bezdrátový přenos elektrické energie na dálku zůstávají bohužel i na počátku 21. století utopií.

Navzdory vysoké účinnosti a konstrukční jednoduchosti elektrického pohonu se proto elektrická doprava na rozsahu veškeré globální dopravy osob a nákladů podílí sotva jednou desetinou! Převažuje v městské dopravě a nemá konkurenci na vysokorychlostních železnicích. Elektrický pohon se stal samozřejmostí lanových drah, výtahů, eskalátorů a dopravníků všeho druhu. Neobejdou se bez něj ani moderní lodě a ponorky, avšak jen „interně“ jako nejvýhodnější druh přenosu výkonu vznětových (dieselových) motorů nebo turbín na lodní šroub. Teprve

budoucnost ocení dopravu, která dokáže pomocí tzv. lineárních elektromotorů nebo magnetohydrodynamického principu měnit elektrickou energii přímo a bez jakýchkoli převodů v tažnou sílu a přímočarý pohyb dopravních prostředků s maximální jednoduchostí a vysokou účinností.

Z HISTORIE ELEKTRICKÉ KOLEJOVÉ DOPRAVY

Úspěchy Stephensonových parních lokomotiv a železnice v Anglii v první třetině 19. století zcela zastínily pokusy Američana **Davenporta** a Skota **Davidsona** s elektrickou lokomotivou poháněnou proudem z galvanických článků (1835). Že bude možné napájet elektrický vůz z vedení podél trati dokázal o šestnáct let později Američan **C. G. Page** na trati Washington – Bladensburg. Teprve roku 1879 se podařilo **Werneru Siemensovi** na

berlínské průmyslové výstavě předvést, co může dokázat lokomotiva. Byl to vlastně jen dvoukilowattový stejnosměrný elektromotor pohánějící ozubeným soukolím podvozek na kolejích s rozchodem 49 cm. Řidič seděl rozkročmo přímo na motoru a řídil rychlost reostatem. Proud o napětí 130 V odebíral „dynamoelektrický stroj“, jak se lokomotivě říkalo, z třetí kolejnice. Maličký stroj, jehož originálem se pyšní Mnichovské technické muzeum, povozil na elipsovité trati a ve třech připojených otevřených vozech během několika týdnů nejméně osmdesát tisíc návštěvníků. Později Siemens zvýšil výkon motoru na 6,6 kW, řidiče u reostatu posadil na plošinu a lokomotivu nazvanou Dorothea dodal saskému kamenouhelnému dolu, kde sloužila až do roku 1927.

Ani **T. A. Edison** neodolal pokušení a roku 1880 vyzkoušel v Menlo Parku elektrický vůz, jehož rychlost 35 km/h byla



První elektrický vláček světa od nejmodernějšího vysokorychlostního expresu ICE-3 dělí 125 let. Společnou mají jen firemní značku – Siemens.



omezena jen krátkou tratí. Technici se však tehdy nedokázali vymanit z konvence a hnací elektromotor zakryli pláštěm ve tvaru parního kotle.

Úspěch Siemensova elektrického vláčku inspiroval řadu amerických i evropských vynálezců k vývoji a prosazení elektrických vozů nejprve jako tramvaje a u podzemních drah. Železnice musely čekat na dořešení spolehlivého přenosu elektřiny na budoucí elektrické vozy a lokomotivy. Stejnoseměrný proud nízkého napětí dodávaný prvními vodními a městskými či veřejnými parními elektrárnami vyhovoval stejnosměrným sériovým elektromotorům, jejichž otáčky (a tím i rychlost vozu) bylo možné snadno řídit zapojením odporů.

JAK NEDOSTAT ELEKTRICKOU „RÁNU“?

V roce 1881 si město Berlín objednalo i Siemense veřejnou elektrickou tramvaj, spojující kadetku v Lichterfelde s dvaapůl kilometru vzdáleným nádražím. Proud odebírala z kolejnic. Kladné napětí 90 V v jedné a záporných 90 V v druhé kolejnici nebylo životu nebezpečné, zato jejich rozdíl (180 V) už motoru na podvozku bohatě stačil

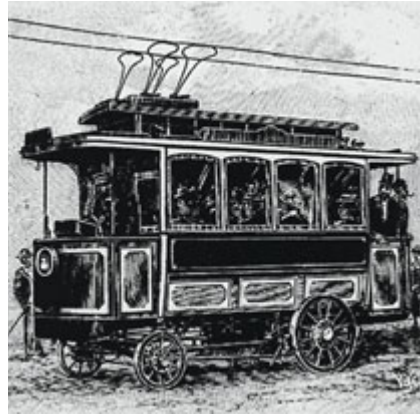
k jízdě asi desetikilometrovou rychlostí. Na několika přejezdech však koně (a někdy i neopatrní chodci), pokud se dotkli obou kolejí současně, dostávali silné elektrické rány. Proto další elektrické tramvaje, které si objednala Paříž a Frankfurt, začal Siemens zásobovat proudem z vodiče, zavěšeného nad kolejemi. Proud se zprvu odebíral z jakéhosi člunku, klouzajícího v rozříznuté měděné trubce zavěšené na stožárech. To bylo častým zdrojem poruch, zejména na výhybkách. Jako zpětný vodič, který už ale nedával rány, protože byl uzemněn, sloužily kolejnice. Následně už trolej (jak se začalo říkat vrchnímu vedení nad kolejemi) sestávala jen z pružně zavěšeného měděného drátu.

Američan **Leo Daft** použil u tramvaje pro New Persey (1887) čtyřkolový vozík, pojíždějící po dvou drátech jako po kolejích. Nejlépe se však osvědčil přívod proudu odpruženým obloukovým smýkadlem nebo tyčí s kladkou, kloubově upevněnými na střeše. Vozy dostaly skříňový tvar s množstvím oken, ochranný rám vpředu a začal se k nim připojovat vlečný vůz. Londýn pro velký zájem cestujících musel zavést dokonce patrové tramvaje. K pohonu se užívaly dva

stejnoseměrné motory, které v paralelním zapojení umožňovaly regulovat rychlost jízdy změnou napětí propojováním motorů a zařazováním odporů otáčením kliky tzv. kontroléru.

Některá historická města se začala bránit znešvaření ulic vrchním vedením. V Budapešti proto Siemens&Halske vyzkoušeli kuriózní podzemní přívod smýkadlem, protahovaným mezerou trubkového kanálu. V zimě a při deštích komplikovaný systém samozřejmě selhával a brzy se od něj upustilo. Neméně kuriózní povrchový přívod použil roku 1902 **František Křížík** pro tramvaj vedenou po Karlově mostu. Kovové smýkadlo (lyže) zavěšené pod vozem klouzalo po kovových cvočcích vyčnívajících z dlažby. Aby nedocházelo k úrazům proudem, spínala relé umístěná v mostní věži proud jen do těch cvočků, které smýkadlo právě stlačovalo.

Největší problém byl se spolehlivým přívodem proudu do motorů prvních trolej-busů. Protože se pro zpětný proud nedalo využít vodivé kolejnice, musely být vybaveny dvojitými sběrači, klouzajícími po dvou paralelně vedených drátech, bezpečně od sebe odizolovaných. Jen u prvních



nadzemních a podzemních drah byl přívod proudu od počátku až po dnešní dobu jednoduše a spolehlivě řešen odpruženým smýkadlem, klouzajícím po samostatné boční napájecí (proudové) kolejnici.

KŘIŽÍKOVY ÚSPĚCHY S ELEKTRICKÝMI DRAHAMI

V Praze začínala elektrická tramvaj jako atrakce Jubilejní výstavy v roce 1891. Návštěvníci mohli vyjet lanovkou na Letnou, odkud je Křižíkův elektrický vůz za 15 krejcarů dopravil Ovenceckou ulicí k výstavišti do Stromovky. Elektřinu dodávalo dynamo o výkonu 12 kW. Aby mohl postavit v Praze tramvajovou síť, musel Křižík bojovat s koncesionáři provozujícími koňskou tramvajovou dopravu. Dne 19. března 1896 zahájila elektrická tramvaj provoz od konečné stanice kočky v Karlíně k viaduktu na Balabence. Na přelomu 19. a 20. století se už Praha pyšnila 7,7 km elektrických linek.

Po zkušenostech s tramvajemi začal Křížík proboujovat myšlenku elektrických drah. Využil situace, kdy Bechyně chystala stavbu městské elektrárny a současně se dožadovala železnice, která by ji spojila

PŘEDNOSTI ELEKTRICKÝCH DRAH

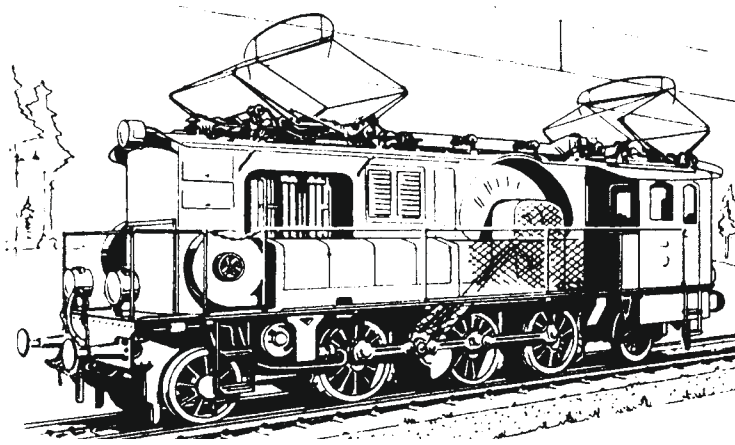
Od počátku 20. století bylo zřejmé, že elektrická lokomotiva – zejména na kratších

tratic s více zastávkami nebo v horských traticích se značným stoupáním – je výhodnější než lokomotiva parní. Ta i v době svého největšího zdokonalení před 2. světovou válkou nedokázala ze spáleného uhlí využít víc než 18 % energie, ke službě se musela připravovat několik hodin, k obsluze vyžadovala až tříčlennou posádku (strojvedoucího, topiče, pomocníka). Palivo a voda se musely doplňovat každých 200 km, okolí obtěžovala kouřem, sazemi, hlukem, klikový mechanismus parního stroje nedovolil překonat rychlost nad 200 km/h.

Elektrická lokomotiva je schopná jízdy bez omezení délky, k obsluze vystačí jediný člověk. Snadněji se ovládá, neobtěžuje své okolí zplodinami. Použité trakční elektromotory umožňují i dlouhodobé přetížení a zaručují velký záběrový moment při rozjezdu i ve stoupání. Na elektrifikovaných tratích nahrazuje jedna elektrická lokomotiva v průměru tři parní.



Křižíkova „stařenka“ opouští nádraží v Táboře při 90. výročí otevření trati (foto J. Tůma)



První generace elektrických lokomotiv používaly těžkopádného přenosu výkonu obrovského pomaloběžného elektromotoru na hnací kola pákovými převody a spřáhly

O EKONOMII ROZHODUJE ZVOLENÁ TRAKCE

Siemens, Edison i Křižík zvolili u prvních elektrických vozidel trolej napájenou stejnosměrným proudem. Vozy nebo lokomotivy byly poháněny stejnosměrnými elektromotory, řízenými změnou svorkového napětí, řazením odporů a propojováním motorových skupin.

Stejnosměrné elektromotory jsou však kvůli komutátorům a kartáčům převádějícím proud do rotoru komplikované a drahé. Nákladná je i nutnost zřizovat podél tratí v odstupu 20 až 30 km měnirny, které přeměňují střídavý proud vysokého napětí z veřejných elektrických sítí na stejnosměrný proud přiváděný do troleje s napětím 1500 V, dnes zejména 3000 V. To platí i v současnosti, kdy původní rotační nebo rtuťové usměrňovače jsou nahrazeny účinnějšími polovodičovými.

Mnohem jednodušší, při stejném výkonu podstatně menší a levnější, jsou asynchronní motory na střídavý proud, jejichž otáčky lze citlivě řídit přepnutím počtu pólů, dnes zejména změnou kmitočtu a napětí moderní elektronikou.

ZVÍTĚZIL STŘÍDAVÝ SYSTÉM

Roku 1902 se rozhodli střídavou trakci s vůbec nejjednoduššími trojfázovými elektromotory v podvozcích vyzkoušet Siemens a EG v Německu. Při historickém pokusu 26. listopadu 1903 na zkušební trati u Berlína naměřili dvoumotorovému vozu AEG rychlost 210 km/h. Pokusy s přívodem proudu třemi vodiči na sloupech po straně trati však zklamaly. Jak německé, tak švýcarské a skandinávské dráhy se proto před 1. světovou válkou rozhodly využít výhod střídavých elektromotorů tak, že trolej napájely jednofázovým proudem 15 000 V s kmitočtem jednoduše sníženým na třetinu – tj. na 162/3 Hz. Tento spolehlivý systém s lehkou trolejí (díky vysokému napětí) a s měnirnami obsluhujícími úseky o délce kolem 50 km dodnes převažuje na starších a horských drahách v Německo, Švýcarsku a Skandinávii.

K napájení troleje ještě vyšším napětím 25 kV průmyslového kmitočtu se mohlo přistoupit, až když vývoj dospěl k polovodičové výkonové elektronice na lokomotivách. Napájecí stanice se zřizují každých 60 až 80 km podél trati, jsou zapojeny na odbočky

vysokonapěťové veřejné trojfázové sítě 110/220 kV a obejdou se bez stálé obsluhy. Jednofázovým transformátorem se toto napětí snižuje na 25 kV a napájecí trolej je na dobře izolovaných závěsech. Lokomotivní sběrač (pantograf) ho přes ochranný vypínač přenáší na lokomotivní transformátor, který ho snižuje na 750 V a usměrňuje pro napájení stejnosměrných trakčních elektromotorů nebo ho tyristorovými měniči a střídači mění na trojfázový proud s řízeným napětím i kmitočtem pro asynchronní trakční motory.

Tímto moderním systémem byly u nás elektrizovány hlavní tratě na jih od stejnosměrně elektrifikovaného hlavního tahu. Buduje se též na všech nových tratích EU včetně vysokorychlostních drah. Jednou na trati zavedený systém se dá jen těžko změnit, a tak jako daň za technický pokrok elektrických pohonů existují na železnicích EU čtyři rozdílné systémy elektrické trakce, lišící se druhem proudu, napětím a kmitočtem. Na jejich rozhraní je nutné jednosystémové elektrické lokomotivy „přepřahat“. Volně přejíždět mohou jen dražší dvou, tří a dokonce již čtyřsystémové lokomotivy



Vestavěný modul s tyristorovými měniči u lehkých článkových expresů a elektrických jednotek bývá umístěn pod rámem každého vozu

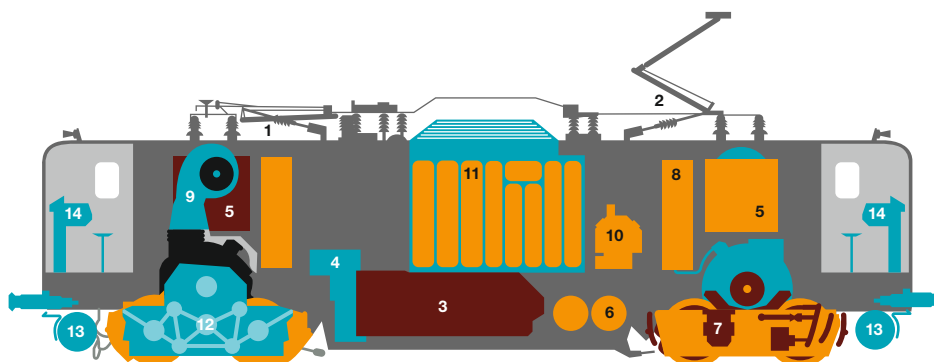


Česká dvousystémová elektrická lokomotiva 363 065-4 (3260 kW, služební hmotnost 86 t)



Čtyřsystémová eurolokomotiva německých drah DB s asynchronními elektromotory o výkonu 6400 kW

- 1 sběrač střídavého proudu
- 2 sběrač stejnosměrného proudu
- 3 transformátor
- 4 regulátor napětí
- 5 usměrňovač
- 6 olejové chladiče
- 7 snímač zabezpečovacího systému
- 8 hlavní spínač
- 9 ventilátor chlazení motoru
- 10 brzdový kompresor
- 11 rozběhové odpory
- 12 trakční motor
- 13 vzduchojem
- 14 řídicí a kontrolní pult



Pohled do útrob moderní dvousystémové elektrické lokomotivy

vybavené nejmodernější silnoproudou elektronikou, umožňující bez zastavení přecházet na jiný trolejový systém.

PROHLÍŽÍME MODERNÍ ELEKTRICKOU LOKOMOTIVU

Moderní vícesystémové elektrické lokomotivy používají v podvozcích zabudované trojfázové asynchronní motory na napětí 750 V. Řízení kmitočtu a napětí tyristorovou silnoproudou elektronikou umožňuje hladký rozjezd lokomotivy bez proklouzávání kol,

optimální využití trakčního proudu a téměř bezztrátovou regulaci. Při brzdění se díky tzv. rekuperaci vrací až třetina energie spotřebované na rozjezd vlaku zpět do stejnosměrné troleje. Pokud jedou pod trolejí se střídavým napětím, sníží ho lokomotivní transformátor na 3 kV. Polovodičový usměrňovač ho usměrní a tzv. střídač podle režimu jízdy mění jeho kmitočet a napětí tak, jak to trakční motory právě potřebují. Tento zázrak umožňují tyristory – polovodičové ovládací ventily, které vzhledem k vysokému výkonu jsou chlazeny vzduchem, olejem

nebo vodou. Slabým řídicím signálem dokáže podle zapojení plynule regulovat napětí nebo proud a řídit kmitočet. Na kmitočet závisí otáčky asynchronních motorů, na dávkách proudu nebo na napětí je závislý jejich „tah“.

Tento zatím neoptimálnější způsob pohonu je zaváděn i u lokomotiv na stejnosměrný proud, u tramvají, trolejbusů a metra. Měníče řízené mikroprocesorem se podle řídicím nastaveného režimu či programu jízdy starají o optimální rozjezd vlaku či soupravy a její ekonomické brzdění rekuperací.



Moderní 16T Porsche

Montují se do vestavných modulů. Motory jsou ve srovnání se stejnosměrnými motory stejného výkonu podstatně lehčí, mohou být i bezpřevodové a průměrná doba revizí a oprav trakčních podvozků je nutná až po 800 000 km.

Hmotnost moderních čtyřnápravových elektrických lokomotiv se pohybuje od 65 do 90 t, trvalý výkon bývá 3 až 4 MW, maximální rychlost 200 km/h. Pro nákladní vlaky se zátěží až 3000 t jsou určeny šestnápravové lokomotivy s výkonem 5 až 6 MW (někdy bývají dvojité) a největší rychlostí 160 km/h.

EUROLOKOMOTIVY PRO 21. STOLETÍ

Cestu ke sjednocení provozu evropských železnic odstartovaly roku 2002 na železnicích DB tzv. eurolokomotivy typu BR-189 od Siemense. Staly se nástupcem více než 900 úspěšných „Europrinterů“, obstarávajících zejména nákladní přepravu. Aby mohly přejíždět s nákladními vlaky po tratích evropských zemí rychlostí 140 km/h (s možností zvýšení až na 230 km/h), jsou přizpůsobeny všem čtyřem trolejovým systémům zavedeným na železnicích EU: střídavým 25 kV/50 Hz, v zatím nejrozšířenější soustavě 15 kV/16,7 Hz, ale také trolejím

napájeným z minulých dob stejnosměrnými 1,5 kV nebo 3 kV. Střídavě karosovaný stroj s uspořádáním Bo'Bo' dosahuje pod střídavou trolejí výkon 6400 kW.

Na vývoji podvozků (dvojkolí a brzd) se podílely i české podniky, test prototypu DB 189 003 proběhl na železničním zkušebním okruhu v Cerhenicích. Kromě nového typu signalizačního osvětlení s LED-diody vedle reflektorů je strojvůdcovo stanoviště vybaveno řídícím a kontrolním pultem se čtyřmi displeji, který je připraven na zavedení budoucího jednotného zabezpečovacího traťového systému a zavaděného železničního dorozumívacího systému GSM-R vybaveného bezdrátovou komunikací. Na pultu má strojvedoucí před sebou kromě provozních spínačů a přepínačů pro obsluhu levou rukou dvě nejdůležitější páky: přímo působící lokomotivní brzdu a indirektní vlakové brzdy. Digitální signály jsou k příslušným prvkům a obvodům přenášeny vlakovou sběrnicí typu „Driver Wire“ s modulární koncepcí.

LEHKÉ ELEKTRICKÉ JEDNOTKY

Tradiční osobní a rychlíkové vlaky složené z desítek vagonů tažených lokomotivou jsou od 70. let 20. století zejména na evropských

železnicích nahrazovány jak na hlavních, tak regionálních tratích lehkými článkovými jednotkami motorovými nebo elektrickými. Zpravidla jsou mezi čelní trakční vozy s aerodynamickou přídílí vkládány jeden až pět vozů s hliníkovými skříněmi, svařovanými moderní technologií Alusuisse. Moderní elektrický pohon je zastoupen převážně asynchronními motory přímo v podvozcích, výjimečně i nábojovými elektromotory, modulární silnoproudá elektronika je rozdělena pod jednotlivé vozy. Většinou jde o nízkopodlažní, velkokapacitní článkové tramvajím podobné **regionální jednotky** s kapacitou od 100 do 300 cestujících. Kapacitu lze podle potřeby pružně měnit připojováním dalších vozů. Nástup i výstup (včetně kočárků či invalidních vozíků) je do krajnosti usnadněn. Rychlost se pohybuje kolem 100 až 140 km/h.

Dřívější dálkové a mezinárodní rychlíky stále častěji nahrazují rychlé elektrické jednotky s naklápacími skříněmi, v jejichž vývoji vede společnost Fiat-Ferrovialia. Elektrohydraulický systém na speciálních podvozcích s kolébkou umožňuje při projíždění oblouků naklonit skříň vozů směrem k jejich středu až o 8 stupňů a tím zmenšit nepřijemné dostředivé zrychlení. Tak se



Nejrychlejší lokomotiva světa – legendární TGV



Vysokorychlostní jednotka ICE dosahuje cestovní rychlosti 300 km/h

podánilo zvýšit cestovní rychlost až o 35 %. Sedm takových rychlostních elektrických jednotek s výkyvnou skříní, podle systému naklápění nazývaných „pendolino“, zkrátilo na prvním koridoru tratí ČD rychlosti až 230 km/h cestu z Prahy do Brna na 2 hodiny, do Berlína na 3 hodiny a do Vídně na 3,5 hodiny. Sedmivozové jednotky dlouhé 185 m nabízejí komfortní cestování 333 cestujícím. Soupravy o hmotnosti 385 t, vyrobené konzorciem Alstom-Ferroviana v italském Saviglianu, jezdí pod trolejemi tří systémů (3 kV stejnosměrné, střídavé 15 kV/16 2/3 Hz a 25 kV/50 Hz), které se vyskytují na zmíněném spoji Berlín-Praha-Vídeň. Výkon osmi trakčních motorů je 3920 kW. Aktivní dvoustupňové vypružení podvozků tlumí vibrace z nerovností kolejí.

VYSOKORYCHLOSTNÍ ŽELEZNICE

Když japonský císař **Hirohito** roku 1964 v předvečer zahájení olympijských her otevřel slavnostně provoz na první vysokorychlostní trati světa mezi Tokiem a Ósakou, nikdo netušil, jakou revoluci vyvolá. Lehké aerodynamicky tvarované elektrické jednotky na 515 km dlouhé trati „šinkanse-

nu“, oddělené bezpečně od krajiny, zkrátily rychlosti 210 km/h cestování a během čtvrt století převedly na koleje většinu cestujících z automobilů i letadel. Na neustále modernizovaných tratích bez přejezdů s minimem výhybek a bez provozu nákladních vlaků dnes rychlosti zvýšenou na 300 km/h ve špičce projíždějí aerodynamicky kapotované expresy v intervalu pouhých tří minut. Flotila expresů stále dokonalejších „generací“ je plně obsazená, jezdí bez zpoždění a nabízí cestujícím na 6000 km tratí mimořádné služby. Evropa, nejdříve Francie, svými superexpresy TGV, následovaná německými ICE, se rozhodla následovat příkladu „asijského tygra“.

TGV DRŽÍ SVĚTOVÝ REKORD NA KOLEJÍCH 515,3 KM/H

Otázku, jakou rychlostí ještě dokáže po kolejích jet železniční podvozek, zodpověděly roku 1955 odvážné zkoušky se stejnými lokomotivami, které po úpravě dosáhly rychlosti 331 km/h! Za finanční podpory státu se francouzské národní dráhy SNCF rozhodly vybudovat síť vysokorychlostních tratí pro maximální rychlost 300 km/h. První lehké superexpresy TGV (train à grande vitesse) vyjely s cestujícími na 425 km dlou-

hou trať Paříž-Lyon 27. srpna 1981. Slogan TGV „Jsme dvakrát rychlejší než vaše auto a jen o polovinu pomalejší než letadlo, které je však třikrát dražší“ nelhal. Dnes jen tato první linka přepravuje ročně 20 milionů cestujících.

Na další trati TGV-Atlantique byly nasazeny modrobílé expresy druhé generace s asynchronními motory. Zde pak 18. května 1990 padl rychlostní rekord železnic – zkrácená jednotka TGV-325 (která se později předvedla i v Praze) mezi Cortallain a Tours překonala magickou rychlostní hranici 500 km/h a digitální rychloměr se nakonec ustálil na 515,3 km/h. Kdyby v té chvíli podle expertů selhaly všechny tři brzdy, zastavila by se souprava na poměrně rovné trati v důsledku obrovské setrvačnosti až o 280 km dále.

BÍLÉ ICE JIŽ V TŘETÍ GENERACI

S využitím letecké techniky a zkouškami v aerodynamickém tunelu zahájilo vývoj aerodynamických superexpresů ICE (InterCityExpres) i Německo. Na koridoru Hannover-Würzburg vyjely soupravy ICE-1 stavěné pro rychlost 280 km/h s dvanácti koly vloženými mezi čelní hnací jednotky a s motory o příkonu 9600 kW roku 1993. Druhá generace ICE-2 obsluhuje tratě budované



Tyristorová článková nízkopodlažní tramvaj Variobahn má nástupní plošiny jen 30 cm nad temenem kolejnic

ve směru západ-východ. Třetí generace ICE-3 zahájila roku 2002 provoz na trati Frankfurt n/M-Kolín n/R. Má trakční motory s celkovým výkonem 8000 kW rozložené po celé délce jednotky pro 425 cestujících.

Jednotky jsou stavěny pro rychlost až 330 km/h a jako třísystemové budou nasazovány na tratích vysokorychlostní sítě EU, která se má do roku 2010 protáhnout na 12 500 km.

RENASANCE TRAMVAJÍ

Až do začátku 2. světové války jezdily v Evropě tramvaje jako jednosměrné vozy (řidič na konečné přecházel z jedné plošiny na druhou), s jedním nebo dvěma vlečnými vozy. Jeden z největších světových výrobců tramvají, smíchovská Tatra (původně Ringhoffer) potom přešla na výkonnější jednosměrné tramvaje s motory o 55 kW. Těm se podle tvaru říkalo „ponorky“. K nim patřily hranaté vlečné vozy s plošinou uprostřed zvané „Krasin“.

V poválečném období jezdily tramvaje ve 300 městech světa. Většina souprav přešla podle licence amerického výrobce Pullman

na otočné podvozky s vestavěnými stejnosměrnými motory. Kontrolér řízený klikou byl nahrazen tzv. urychlovačem s 99 jízdními stupni, které se řadí automaticky podle hloubky sešlápnutí řídicího pedálu. Tramvaje dostaly samouzavírací dveře, hlučnost jízdy zmírnily pryžové silentbloky mezi věncem kola a nápravovým diskem. V 60. letech 20. století začalo mnoho měst tramvajové linky rušit, protože vyvolávaly dopravní zácpy v centru. Konstrukteři reagovali výkonnějšími motory, které umožnily i tříčlánkovým tramvajím zrychlení až $1,2 \text{ m/s}^2$, jaké dosahují osobní automobily. V 80. letech se na dvou až tříčlánkových vozech uplatnil úsporný systém pohonu asynchronními elektromotory, řízenými pulzními měniči s tyristory. Od té doby jezdí tramvaje bez „trhání“ při rozjezdu a brzdění a díky rekuperaci ušetří až třetinu energie. Současné 27 až 35 m dlouhé tříčlánkové vozy se staví jako nízkopodlažní. Jen 30–35 cm od temene kolejnic vysoko položené nástupní plošiny širokými dveřmi otevíranými řidičem umožňují bezproblémové nastoupení i starším osobám, najezd kočárků nebo invalidů na vozíku.

Podvozky, u některých vozů s přímo poháněnými koly (bez náprav), jsou umístěny v podestě přímo pod sedadly cestujících. Odpružení je provedeno pryžovými elementy a vzduchovými vaky. Výrobci (z našich ČKD Dopravní systémy nebo Škoda-Inekon) používají modulární koncepci, která dovoluje sestavu upravit pro jednosměrný nebo obousměrný provoz a sprádkání do dvoučlenných souprav. Například nízkopodlažní tříčlánková tramvaj RT6-N z ČKD je poháněna čtyřmi stejnosměrnými motory po 102 kW, napájenými GTO-tyristory řízenými mikroprocesorovým regulátorem. Elektrická výzbroj je umístěna převážně ve zdvojené střeše. Při plném obsazení 317 cestujícími (46 sedícími) dosáhne rychlost 70 km/h během 35 sekund.

SETKÁNÍ NA KOLEJÍCH

Pokud velkokapacitní vicesystemové článkové tramvaje splní železniční předpisy, mohou vyjet i na železniční tratě. Tak usnadní cestujícím z periferie města přestup na osobní vlaky i expresy. Tramvaj a bílý superexpres ICE vedle sebe poprvé zastavily v den zahájení kombinované dopravy



Tříčlanková nízkopodlažní „Eurotramvaj“ s nevšedním italským designem (ve Štrasburku) otevírá výkonem 300 kW a rychlostí 70 km/h novou éru tyristorových tramvajů

na nádraží v Karlsruhe roku 1996. Novinka se rychle šíří v řadě evropských měst jako součást tzv. integrované městské dopravy.

TROLEJBUSY NA ÚSTUPU

Po většinou nezdařilých pokusech na přelomu 19. a 20. století (první trolejbusová linka na našem území z Českých Velenic do Gmündu zahájila provoz roku 1970) se elektrické „autobusy“, závislé na dvojici trolejových drátů, rozšířily v městské a příměstské dopravě až mezi světovými válkami. Ve své „zlaté éře“ je provozovalo na 500 měst, zejména v Británii a v USA. Po válce je však rychle vytlačily pohodovější a levnější městské autobusy. Zbavit trolejbus závislosti na troleji vedl svého času k ztv. gyrobusem, kumulujícím energii na zastávkách do motor-generátoru setrvačnickem, otáčejícím se ve vakuové skříni. V letech ropného šoku se řada měst k trolejbusům znovu vrátila nejen kvůli úspornějšímu provozu, ale i proto, že neplodí exhalace, jsou bezhlučné a zdolávají strmější stoupání než autobusy a tramvaje. Menší dvounápravové trolejbusy pro

80 cestujících jsou poháněny motorem o 125 kW, současné třínápravové kloubové trolejbusy, o které je větší zájem, nabízejí místo až 150 cestujícím a jsou poháněny asynchronními elektromotory o výkonu až 170 kW. Některé jsou vybaveny systémem pro samočinné stažení a navedení tyčových sběračů na trolej, což jim spolu s blokem akumulátorů dovoluje v případě zablokování trasy menší objížďku a pokračování v cestě.

BEZKONKURENČNÍ METRO

Podzemní dráhou (označovanou místně metro, Metropolitan, U-Bahn, Underground, Subway či Sotteranea) se na počátku 21. století pyšnilo 115 světových velkoměst. V hlubinných nebo jen mělce založených podpovrchových tunelech zvládnou dvou až dvanáctivozové soupravy elektrických vlaků přepravu 40 až 60 tisíc cestujících v každém směru za hodinu. Služba a vybavení pozemních drah, lišících se zejména architekturou stanic, lze popsat téměř astronomickými čísly: roku 2000 přepravovalo 360 linek podzemních drah



Na nádraží v Karlsruhe je možné přestupovat z dvousystémové člankové tramvaje přímo na expresy ICE

na všech kontinentech ročně 28 miliard cestujících. Až na krátký noční klid využíváný k údržbě bylo v oběhu asi 50 tisíc vozů, zastavujících ve 4600 stanicích.

Některé podzemní dráhy přecházejí na počítačem řízený provoz bez řidičů (např. BART v San Francisku, rychlé metro v Paříži). Zabezpečí elektronika umožnila zkrátit intervaly souprav až k jedné minutě.

Starší vlaky metra používají převážně upravené železniční podvozky hnané stejnosměrnými elektromotory na 750 V, odebíraných z postranní proudové kolejniče. Novější soupravy spoří co nejvíce na hmotnosti a užívají tzv. integrální vozové skříně svařované z hliníkových panelů lichoběžníkového profilu. V pohonu převládají vzhledem k neustálému rozjíždění a brzdění asynchronní elektromotory s rekuperací. Odpružení zajišťují pryžová pera a vzduchové vaky. V interiéru se kombinuje podélné a příčné sezení.

MINIMETRO NA PNEUMATIKÁCH

V sedmi městech světa (např. v Paříži a v Montrealu) jezdí na několika linkách nekonvenční soupravy s pneumatikovými



První experimentální souprava metra LIM, tažená putujícím magnetickým polem lineárního elektromotoru podél hliníkového pásu mezi kolejemi



Minimetro ve francouzském Lille – bez řidiče a na pneumatikách. Pohon obstarávají dva motory o výkonu po 120 kW, napájené sběračem z postranní proudové kolejnice.



Jako první využila maglev Transrapid Čína k rychlému spojení Šanghaje s letištěm Pudong

podvozky licence Michelin na betonových pásech. Jezdí tišeji a zdolávají větší stoupání než metro na kolejích. Vyžadují však složitý systém bočního vedení a v důsledku desítkrát vyššího valivého odporu vykazují podstatně vyšší spotřebu elektřiny.

V jízdě automaticky řízených souprav metra na pneumatikách se zhlédli konstruktéři tzv. lehkého metra neboli minimetra. To je ekonomicky výhodné pro města s méně než milionem obyvatel. Velmi se osvědčuje ve francouzském Lille, kde společnost MATRA provozuje na dvou linkách dlouhých 25 km počítačem a dispečery dálkově řízené dvouvozové soupravy VAL, které ročně přepraví 50 milionů cestujících. Nápravy s koly opatřenými pneumatikami jsou poháněny stejnosměrnými elektromotory o výkonu 120 kW s tyristorovým řízením. Perony stanic jsou od tratí odděleny skleněnými dveřmi, které se automaticky odsunou, když u nich dvouvozová jednotka pro 64 sedících samočinně zastaví, a to s přesností na 10 cm. Vozové dveře se otevřou a umožní výstup a nástup cestujících. Provoz 200 souprav na třech linkách řídí několik operátorů z centrály od pultu, na kterém je zobrazena okamžitá pozice všech vlaků a situace na nástupištích stanic.

Londýn má v provozu automatické minimetro Dockland s dvoudílnými soupravami jezdícími bez řidiče po kolejích normálního rozchodu. Vývoj směřuje i k nekonvenčním elektrickým kabinovým drahám řízeným počítačem. Kabiny pro 20 až 40 osob jezdí po vyčleněné dráze v tunelech a po estakádách, nebo v závěsu na mostní konstrukci nad ulicemi a křižovatkami.

LIM – METRO SE SPOKOJÍ S TUNELY MALÉHO PRŮMĚRU

Japonci otevřeli cestu revolučnímu pohonu elektrických vlaků pomocí lineárního elektromotoru, označovaného zkratkou LIM (lineární indukční motor). Hliníkový pás uložený mezi kolejnicemi zastává funkci složitého rotoru elektromotorů, pohánějících kola elektrických vozidel. S mezerou nejvýše 20 mm nad ním klouže s rámem vozidla spojený krátký stator jako druhá část pozoruhodného elektromotoru, který se neotáčí! Běžící elektromagnetické pole střídavého proudu vpuštěného do vinutí statoru ho začne (i s celým vozem) vůči hliníkovému pásu, v němž se naindukovaly vířivé proudy, dopředu přitahovat a dozadu odpuzovat. Vozidlo se snaží dohnat putující elektromagnetické pole. Rychlost jízdy je závislá

na kmitočtu a počtu pólů statorového vinutí. Když se směr přívádění proudu obrátí, LIM razantně brzdí. Testy prokázaly spolehlivost nového systému pohonu elektrických drah LIM i jeho přednosti – zmenšení průměru tunelů z dnešních 6,2 m jen na 4 m, protože soupravy vystačí s jednoduchými podvozky s malými koly. Navíc zvládnou větší stoupání, protože nemají poháněná, a tedy i prokluzující kola.

CESTY K MAGNETICKÉ RYCHLODRÁŽE

Fyzikální poznatek, že stejné póly magnetů se odpuzují a nestejné přitahují, lákal vynálezce po celé století k představě vozidla, které by se na silokřivkách magnetického pole buď vznášelo jako na magnetickém polštáři, nebo se jeho prostřednictvím přitahovalo ke kolejím. Patent na vozidlo využívající magnetické levitace (odtud pochází nejužívanější označení takových vlaků „maglev“) získal roku 1934 německý inženýr **H. Kemper**. Techničtí entuziasté v Německu a Japonsku po něm sáhli o čtyřicet let později, když svět začal hledat cestu k tak rychlým vlakům, které by konkurovaly na vnitrostátních linkách přemnoženým letadlům. Úspěch se dostavil



Maglev Transrapid-06 na zkušebním okruhu v Emslandu (Německo)

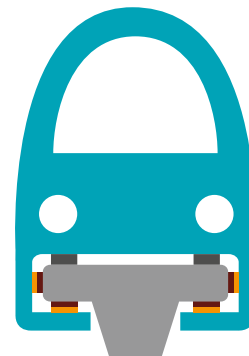
až když k pohonu vozidel bez kol využili tzv. lineární elektromotor (LIM), jehož vynálezce je britský profesor **E. R. Laithwait**. Němečtí technici z konsorcia Transrapid jdou od začátku cestou magnetického zavěšení vlaků („Transrapidů“). Japonci naopak závěs opustili a jdou cestou elektrodynamicky generovaného magnetického pole, po kterém budou soupravy klouzat.

NĚMECKÝ TRANSRAPID S PREMIÉROU V ŠANGHAJI

Aerodynamicky karosovaná jednotka německého Transrapidu obepíná svým rámem dráhu sestavenou z betonových nosníků. Mostová dráha profilu T má po obou stranách upevněn pás primárních cívek, napojených v sekcích na centrálu, která je napájí střídavým proudem s regulovaným napětím a kmitočtem. Proti nim jsou postaveny výkyvné magnetické podvozky vozidla s tzv. nosnými elektromagnety. Když se do primárního vinutí zavede proud, vybudí indukce nosné elektromagnety a ty se přitáhnou ke spodní části ocelových kolejnic na okrajích betonové dráhy. Systém je vyladěn tak, že několikátunové vozidlo se zvedne asi o 10 až 15 cm nad rovinu betonové dráhy. V rytmu kmitočtu primárního

napětí postupující magnetické pole začne podvozkové magnety táhnout vpřed. V ose dráhy je vozidlo udržováno magnetickými silami vodících elektromagnetů. Postupující pole indukuje v cívkách lineárního generátoru na podvozku i proud pro dobíjení palubních akumulátorů, pro osvětlení a vytápění vozidla. Během dvacetiletých pokusů na třicetkilometrové zkušební trati v Emslandu se podařilo odstranit nestabilitu magnetického závěsu a dořešit otázku nouzového zabrzdění soupravy při výpadku napájení trati. Poslední dvoudílná souprava TR-07 „nalétala“ na okruhu 300 tisíc kilometrů a v červnu 1993 vytvořila rychlostní rekord 450 km/h.

Interiér sendvičové karoserie je vybaven podle nároků pro 60 až 120 cestujících. Na řadu projektů, například maglev Berlín–Hamburk, spojení nového letiště v Mnichově s hlavním nádražím nebo magnetické „metro“ spojující Düsseldorf s Dortmundem, se však nepodařilo najít investory. Proti záměrům létat rychlostí 400 km/h po betonových mostech nad krajinou protestují ochránci přírody. Pro prestižní projekt se nečekaně rozhodla Čína. Od začátku roku 2004 jezdí v intervalu 10 minut šestdílné soupravy Transrapidu v magnetickém



Princip magnetické levitace a vedení rychlovlaku Transrapid

závěsu na betonové estakádě rychlostí až 430 km/h a dopravují cestující ze 14milionového Šanghaje na 31 km vzdálené mezinárodní letiště Pudong. Trať přišla na 1,2 miliardy eur a byla postavena za rekordních dvacet měsíců, i když je vedena hustě obydlenými úseky a několikrát mimoúrovňově kříží železniční tratě. Bezhluché jednotky pro 960 cestujících jsou poháněny lineárním elektromotorem a kloužou jen centimetr nad betonovou mostovou dráhou, jejíž okraje mají zabudovány dlouhé statorové cívky. Zrychlení je ohromující: maximální rychlosti dosahuje jednotka čtyři minuty od okamžiku rozjezdu, na nástupiště letištního terminálu dorazí od startu už po osmi minutách.

REKORDNÍ JAPONSKÝ ELEKTRODYNAMICKÝ MAGLEV

Třídílná hliníková souprava elektrodynamického maglevu série MLX spočívá na čtveřici magnetických podvozků, vedených třemi typy cívek zabudovaných v bočních stěnách betonového žlabu trati. Na rozdíl od transrapidů v klidu a při rozjezdech spočívá na malých zatahovacích podvozcích připomínajících podvozky stíhaček. Při rozjezdu s pomocí lineárního elektropohonu vyvolávají supravodivé magnety na



Člun profesora Saji

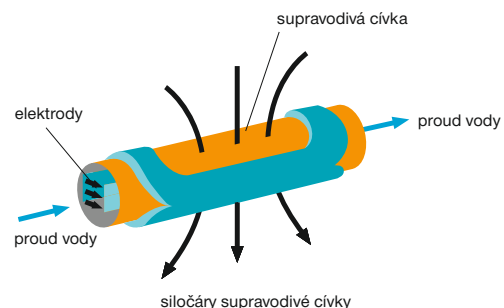
spodku vozů silné magnetické pole, jehož silokřivky indukují v levitačních cívkách na bočních betonových stěnách trati vzrůstající magnetické pole. Při rychlosti nad 120 km/h zvedne interakce obou polí soupravu asi 10 cm nad povrch betonové dráhy, podvozky se zatáhnou do podlahy a boční magnetické pole udržuje zrychlující se vlak automaticky ve vznosu i v ose trati, takže souprava se skutečně vznáší jen na magnetickém polštáři. Z nejvyšší rychlosti brzdí vlak po způsobu letadel vysunutím brzdících klapků na střeše, potom elektricky a při dosednutí na podvozky kotoučovými brzdami. Dne 14. dubna 1999 pětidílná souprava MLX se zátěží dosáhla rychlosti 552 km/h, 3. prosince 2003 pak rekordu 581 km/h. Na budoucím Chuo-šinkansenu, plánovaném jako paralelní spojení Tokia s Ósakou, by měly jezdit devítidílné maglevy s kapacitou 1000 cestujících rychlostí 500 km/n.

ELEKTROMAGNETICKÝ POHON I NA MOŘÍCH

Myšlenka sestavit plavidlo, které by se oběhlo bez plachet i bez lodní vrtule, zajímala už **Julese Verna**. Jeho románový **Nautilus** byl

poháněn elektrickým proudem z tajuplného zdroje a bez lodního šroubu. Lodní vrtule vzhledem ke kavitaci nemůže žádnému plavidlu udělit rychlost větší než 100 km/h. Profesor **Yoshiro Saji** z Námořní akademie v Kobe je hodlá nahradit proudovými motory, založenými na magnetohydrodynamickém principu. Ten se opírá o známé Flemingovo pravidlo levé ruky: „Vstupují-li siločáry magnetického pole do dlaně levé ruky a natažené prsty ukazují směr proudu ve vodiči, vzniká síla působící ve směru napjatého palce!“ Chceme-li pochopit princip proudového pohonu, představme si v roli vodiče mořskou vodu (ta je opravdu díky své slanosti vodivá). Pak už by k pohonu plavidla měla stačit otevřená trubice v podélné ose plavidla pod jeho dnem. Pokud ji obklopíme magnetem a na pár vložených elektrod přivedeme stejnosměrný proud, uvede se voda v trubici podle Flemingova pravidla do pohybu a reaktivní síla požene loď vpřed.

Pokusné čluny profesora Sajiho jsou vybaveny supravodivými magnety, jejichž pole je šedesáttisíckrát silnější než magnetické pole Země. Zatím nedokáží plout rychleji než 15 km/h. Saji však věří, že na



Princip magnetohydrodynamického proudového motoru u člunu profesora Sajiho

tomto principu založené ponorky nebo velké námořní lodě by po odstranění dětských nemocí magnetohydrodynamického proudového pohonu mohly při vhodném tvaru trupu dosáhnout rychlosti až 180 km/h, což by vyvolalo revoluci v námořní dopravě. Jak už to bývá, proti vynálezu se ihned postavila řada námořních expertů, kteří se obávají rušivého působení elektromagnetického pole na navigační přístroje, rozkladu mořské vody spojeného s uvolňováním chloru a zvýšením korozivních účinků na plavidla. Biologové mají obavy z vlivu silných polí na mořskou faunu a floru.

ELEKTROMOBILY DOZRÁVAJÍ

Když se nejprve v amerických a dnes i v evropských a japonských velkoměstech ukázalo, že kritickou situaci v znečišťování životního prostředí mají z větší části na svědomí automobily a autobusy se zážehovými motory, a že katalyzátory nepomáhají tak, jak se předpokládalo, zvýšil se tlak na vývoj elektromobilů všech kategorií. Více než třicet let se automobilky i vývojové skupiny na univerzitách chlubí na výstavách a autosalonech lákavými malými městskými



Elektromobil z projektu ČEZ FUTUR/E/MOTION

elektromobily, hromadná výroba však nikde zahájena nebyla. Na elektrickou energii z akumulátorů jezdí dodnes jen tisíce nenápadných, ale užitečných poštovních a rozvázkových automobilů, ve skladech pak tisíce elektrických „ještěrek“ a vysokozdvížných vozíků.

Za sto let od doby, kdy vyjely první elektromobily, se totiž nepodařilo získat elektrochemický zdroj s takovou hustotou energie, jakou poskytuje benzin v nádrži – tj. okolo 10 000 watt hodin z jednoho litru či kilogramu. Stávající elektromobily jsou nuceny používat byť zdokonalené olověné akumulátory, jejichž kapacita kolem 30 Wh z kilogramu hmotnosti navzdory lepší účinnosti elektromotorů zaostává až osmdesátinásobně za kilogramem kapalných paliv. „Zázračné“ nikl-kadmiové, nikl-metalhydridové nebo lithium-iontové akumulátory jsou na tom asi čtyřikrát lépe než olověné baterie, pro vysokou cenu se však prosazují pomalu.

Současné „nejvypiplanější“ osobní elektromobily, které ztěžknou akumulátory o několik set kilogramů (navíc nebezpečných uživatelů i okolí v případě havárie), se chlubí prakticky na jedno nabití dojezdem okolo

100 až 150 km při rychlosti, která nepřekročí 100 km/h. Odborníci soudí, že šanci zaplnit města, nebo stát se druhým „nákupním“ automobilem v rodině budou mít elektromobily, až když nebudou dražší než dnešní automobily střední kategorie a jejich akční rádius se zvětší alespoň na 300 km.

Ze stovek obvykle nevšedně karosovaných rodinných elektromobilů si všimneme čtyřmístného modelu Mercedes-Benz EV 200, který byl na přelomu 21. století pokládán za nejpropracovanější a připravený k hromadné výrobě. K pohonu využívá asynchronní, výkonovou elektronikou řízení trojfázový bezpřevodový motor nad přední nápravou o výkonu 50 kW. Zdrojem proudu je 370 kg těžký blok nové generace sodíko-sírových baterií „Zebra“ s životností 1000 nabíjecích cyklů. Mikroprocesorem řízený motor umožňuje zrychlení obsazeného vozu z nuly na sto kilometrů za 16,5 sekund, takže nebude na křižovatkách při rozsvícení „zelené“ omezovat rozjezd ostatních benzinových automobilů. Stoupavost 20 % obstojí i na horských silnicích, při zkouškách dokázal vyvinout maximální rychlost až 160 km/h. Po sedmihodinovém elektronicky řízeném nabíjení má díky rekuperačnímu

brzdění dojezd až 200 km. Uživatelé kromě tichého chodu a jiných ukazatelů, mezi nimiž nechybí ukazatel aktuálního dojezdu s ohledem na ubývající zásobu energie, nepoznají rozdíl od motorových vozidel s automatickou převodovkou. Jedinou pákou nastaví městskou, horskou, dálniční nebo zpáteční rychlost, ovládanou jemně pedálem. Blok akumulátorů dokáže v případě uvážnutí vozu během několika minut vyjmout a nahradit novým přivolané vozidlo silniční služby.

Není měsíce, aby nebyl představen nový model elektromobilu. Například Fordův městský elektromobil s podivným označením Think je celý z plastu a montuje se (aby byl cenově dostupný) jen ze 425 částí, které jsou už připraveny k hromadné výrobě. Naděje kladou světové automobilky i do elektromobilů produkujících elektřinu z vodíko-kyslíkových palivových článků. Ty prožívají prudký vývoj, který však naráží na dva problémy – vodík se získává nejsnadněji syntézou z odsířeného benzinu, zkapalněním vodík je mimořádně nebezpečná kapalina (ve směsi se vzduchem vybuchuje) a její distribuce a „tankování“ by vyžadovalo vybudování drahé infrastruktury.



TRH S ELEKTŘINOU

Elektřina, jako obchodovatelná komodita, má svoje specifika. U běžného zboží existuje objednávka, čekací doba, doprava a vydání zboží. To u elektřiny neplatí. V propojené elektrizační soustavě nelze zajistit dodávku určitého výrobce určitému zákazníkovi, ale přesto působí na trhu s elektřinou ekonomický zákon nabídky a poptávky. Mezi účastníky trhu dochází k uzavírání smluv na dodávku elektřiny a dalších služeb, které se na základě naměřených hodnot vyhodnocují a fakturují. Trh s elektřinou je poměrně složitě strukturované prostředí, kde dochází k nákupu a prodeji elektřiny a s tím spojených služeb.

VÝVOJ NA TRHU S ELEKTŘINOU KE KONCI 20. STOLETÍ

Až do začátku 90. let minulého století byly dodávky elektřiny konečným zákazníkům zajišťovány ve světě a také v České republice velkými, vertikálně integrovanými elektrárenskými podniky s téměř monopolním postavením na trhu, který ve skutečnosti prakticky neexistoval. Tyto velké podniky zajišťovaly v elektroenergetice celý řetězec činností – od výroby přes přenos, distribuci až k dodávce.

Představitelem takové společnosti v ČR byly České energetické závody, které však zanikly. V roce 1992 vznikla z části Českých energetických závodů nová společnost: ČEZ, a. s.

V Evropské unii a dalších vyspělých zemích se systémy organizace a provozu elektroenergetiky založené na vertikálně

integrovaných společnostech začaly považovat za zastaralé.

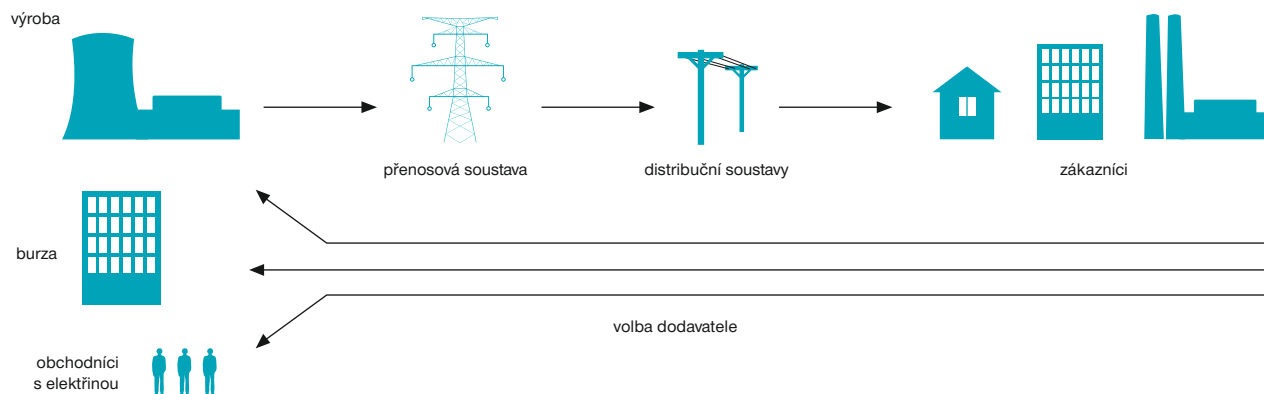
Mezi uváděné důvody patřila absence motivačních faktorů ke zvyšování účinnosti v systému, přebytek zdrojů pro výrobu elektrické energie a technický pokrok v decentralizované výrobě (např. plynové elektrárny, plynové motory vyrábějící elektřinu z bioplynu či výroba elektřiny z dalších obnovitelných zdrojů).

Obecným trendem se stala liberalizace elektroenergetických systémů, založená na:

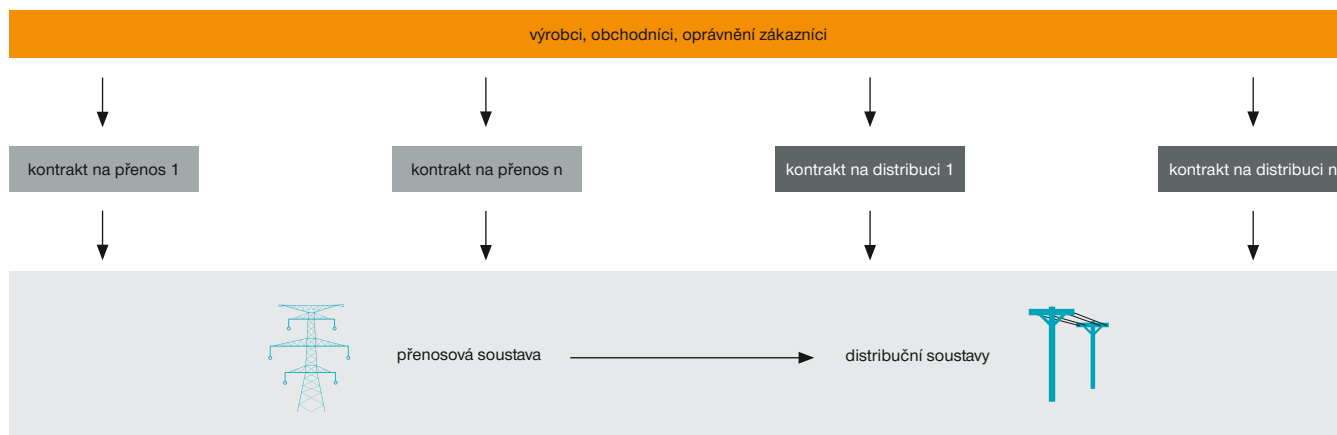
- konkurenci ve výrobě elektrické energie,
- obchodování s elektřinou jako komoditou na burze,
- přístupu k sítím třetí straně (TPA – Third Party Access),
- oddělení funkcí výroba – přenos – distribuce – dodávka/prodej,
- možnost konečného zákazníka zvolit si svého dodavatele.

Pro členské státy EU se uvedené zásady staly závaznými přijetím Směrnice 96/92/EC týkající se společných pravidel pro vnitřní trh s elektřinou. Na liberalizovaném trhu využívají výrobci a obchodníci/dodavatelé přenosové a distribuční soustavy, koneční zákazníci mají právo volby dodavatele.

V České republice jsme se uvedeným cílům postupně přizpůsobovali. V roce 1992 vznikla akciová společnost ČEZ (se základními činnostmi výroba a přenos elektřiny) a osm rozvodných elektroenergetických společností – REAS, které zajišťovaly distribuci a dodávku elektřiny konečným zákazníkům. ČEZ, a. s., si uchoval své dominantní postavení ve výrobě elektřiny a byl také partnerem v mezinárodní organizaci CENTREL (organizace pro zajištění propojení elektrizačních sítí Maďarska, Polska, Slovenska a České republiky). Významným přínosem pro mezinárodní obchod s elektřinou a pro



Liberalizovaný trh s právem volby dodavatele



Přístup třetích stran k sítím

bezpečnost provozu elektrizační soustavy bylo propojení sítě CENTREL se západoevropskou soustavou UCTE v roce 1995.

V roce 1999 vznikla oddělením od ČEZ společnost ČEPS, a.s., s funkcí provozovatele přenosové soustavy. Společnost ČEPS dispečersky řídí provoz přenosové soustavy a systémových zdrojů na území České republiky. Zajišťuje mezinárodní spolupráci prostřednictvím propojovacích vedení

s elektrizačními soustavami sousedních zemí podle pravidel UCTE.

Všechna tato opatření již vedla k tomu, že subjekty v sektoru elektroenergetiky začaly mezi sebou ve větší míře obchodovat.

Konkurence se začala projevovat mezi výrobci elektřiny.

REAS se snažily nakupovat elektřinu od různých dodavatelů, a to jak z domácích zdrojů tak importem ze zahraničí. Trh s elek-

třinou se na straně výroby zcela otevřel – liberalizoval.

ČESKÁ REPUBLIKA – VÝVOJ NA TRHU S ELEKTŘINOU

Důležitým milníkem pro prohloubení konkurence na trhu s elektřinou bylo přijetí energetického zákona č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a výkonu státní

Počty oprávněných zákazníků

Otevření k datu	Počet oprávněných zákazníků	Podíl oprávněných zákazníků na celkové spotřebě (%)	Poznámka
1. 1. 2002	68	20	–
1. 1. 2003	400	28	–
1. 1. 2004	25 000	45	odhad
1. 1. 2005	800 000	75	odhad
1. 1. 2006	5 500 000	100	–

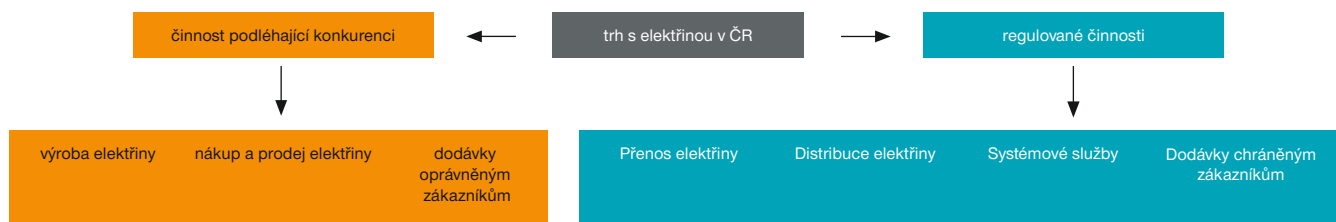
Pozn.:

V elektrizační soustavě se rozlišují dva typy průběhového měření:

Měření typu A s dálkovým přenosem údajů

Měření typu B s odečtem podle měřicího terminálu

Ostatní měření elektřiny se označují jako typ C



Trh s elektřinou v ČR

správy v energetických odvětvích. Zákon upravoval pro elektroenergetický sektor:

- postavení, práva a odpovědnosti nezávislého regulačního orgánu,
- vytváření ekonomických a technicko-provozních pravidel pro podnikání v energetice, včetně určení funkcí operátora trhu s elektřinou,
- rozsah, způsob a postup regulace v energetických odvětvích ze strany státu,
- harmonogram postupného otevírání trhu s elektřinou a plynem konkurenci,
- řešení podnikatelského prostředí v oblasti teplotnosti.

Základem pro vznik konkurence na trhu s elektřinou je uplatnění principu přístupu třetích stran k přenosovým a distribučním sítím (TPA), kdy si výrobci, obchodníci/dodavatelé a oprávnění zákazníci mohou sjednat přístup k těmto sítím a uzavřít dodávkové kontrakty mezi sebou. V České republice

byl zvolen regulovaný přístup třetích stran k přenosové soustavě a distribučním sítím.

Na trhu s elektřinou jsou činnosti, kde působí konkurenční prostředí. Naproti tomu jsou činnosti, které je nutné regulovat.

Oprávněný zákazník je podle zákona definován jako fyzická či právnická osoba, která má právo přístupu k přenosové soustavě a k distribučním soustavám za účelem volby dodavatele elektřiny.

V České republice se konkurenční prostředí na trhu s elektřinou vytváří postupně od roku 2002. Od roku 2006 je trh plně otevřen pro všechny zákazníky.

OTEVÍRÁNÍ TRHU S ELEKTŘINOU KONKURENCI VE STÁTECH EU (EU 15)

Po přijetí **Směrnice 96/92/EU** přistoupily státy Evropské unie k jejímu naplnění rozdílně. Německo, Velká Británie, Švédsko,

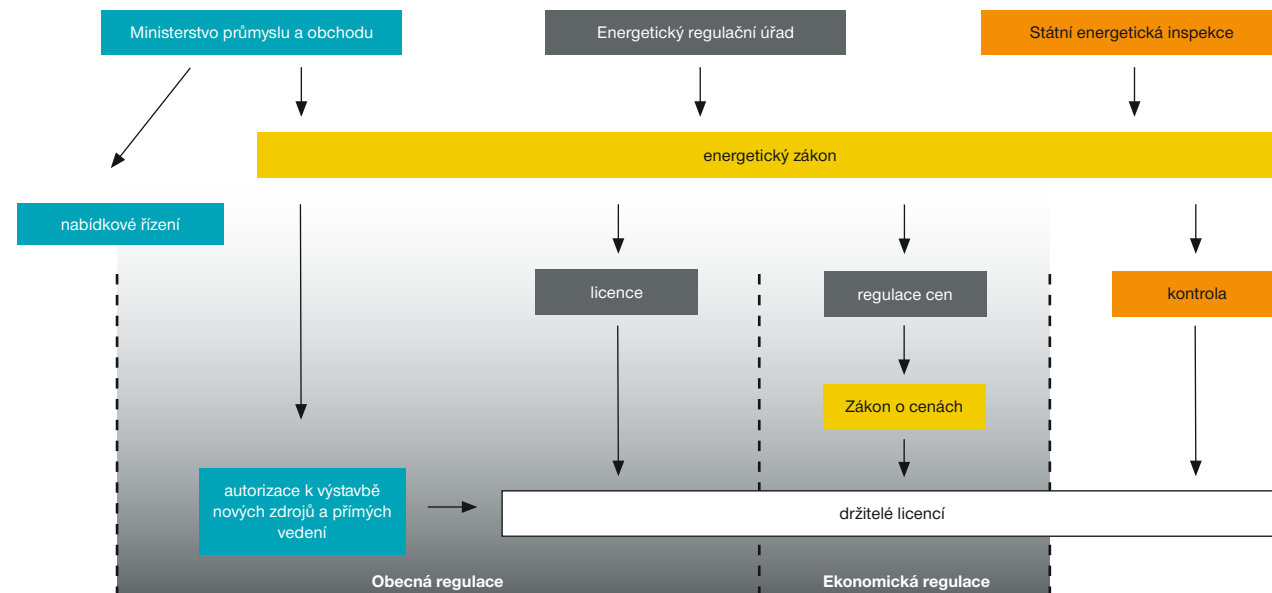
Výroba a instalovaný výkon v regionu střední Evropy 2007, netto

	Střední Evropa	ČEZ	ČEZ podíl
TWh	1661	64	3,8 %
GW	363	12	3,4 %

● středoevropský trh s elektřinou



Podíl Skupiny ČEZ na českém trhu s elektřinou pro koncové zákazníky činí 45 % (r. 2009). Každý odběratel elektřiny v ČR má podle Energetického zákona možnost svobodného výběru dodavatele. Podíl na integrovaném středoevropském trhu je 3–4 %.



Instituce regulující energetický sektor

Finsko, Rakousko deklarovaly již v roce 2002 plné otevření trhu konkurenci, státy s převažujícím podílem velkých, vertikálně integrovaných společností plnily pouze kvóty požadované **Směrnicí**. Příkladem takového přístupu jsou Francie (dominantní pozice společnosti EdF), a Irsko (společnost ESB) pouze s 30 % podílem trhu otevřeného konkurenci v roce 2002.

Cílem Evropské unie bylo vytvoření jednotného trhu s elektřinou, založeného na jednotných zásadách.

Rozdílné přístupy jednotlivých států však tomuto cíli neodpovídaly. Proto byla v roce 2003 přijata Směrnice 2003/54/EC týkající se obecných pravidel pro vnitřní trh s elektřinou, ve které je uveden nový, závazný harmonogram otevírání trhu s elektřinou konkurenci (ten již plně respektuje v ČR novela zákona 458/2000 Sb.) a jsou určeny další požadavky na splnění uvedeného cíle. Mezi jinými to jsou:

- preference regulovaného přístupu oprávněných zákazníků k sítím,
- požadavek na vytvoření národních regulátorů,
- organizační unbundling – oddělení výrobců elektřiny od regulovaných oblastí, jako je distribuce,
- závazek veřejné služby.

Česká republika postupně tyto zásady v praxi naplnila.

INSTITUCE, KTERÉ REGULUJÍ ENERGETICKÝ SEKTOR

Elektroenergetiku, plynárenství a teplárenství regulují na základě energetického zákona Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO), Energetický regulační úřad (ERÚ) a Státní energetická inspekce (SEI).

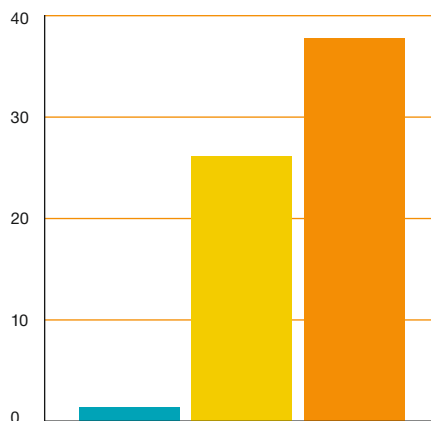
MPO má úlohu legislativní a koncepční; je odpovědné za zpracování energetických

konceptů státu, vydává souhlas s výstavbou nových zdrojů v elektroenergetice, teplárenství a vybraných plynových zařízeních (tzv. autorizace k výstavbě zařízení). Připravuje nové zákonné normy.

Ministerstvo průmyslu a obchodu zabezpečuje plnění závazků vyplývajících z mezinárodních smluv.

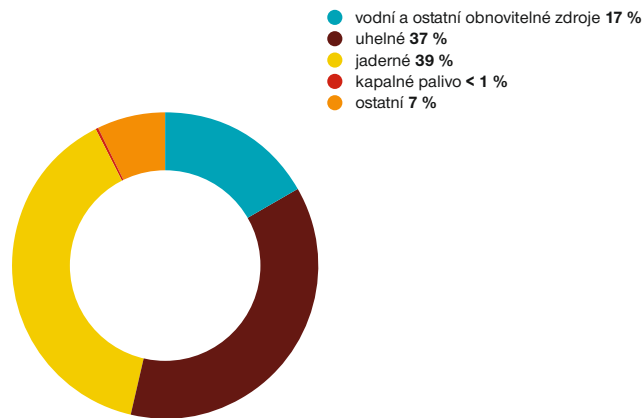
Energetický regulační úřad má tyto hlavní úkoly:

- chránit zájmy spotřebitelů,
- vyžadovat plnění kvalitativních parametrů a zabezpečení dodávek energie spotřebitelům,
- zajišťovat stabilitu cenové úrovně, tj. regulovat přiměřený výnos podnikatelských aktivit,
- podporovat konkurenci,
- vyžadovat zefektivnění činnosti energetických společností,
- vydávat oprávnění (licence) na podnikatelské činnosti v energetickém sektoru.



Výroba v ČEZ, a. s., v roce 2008 (v TWh)

● vodní elektrárny 1,5 TWh
 ● jaderné elektrárny 26,5 TWh
 ● uhelné elektrárny 33 TWh



Předpoklad výroby elektřiny v ČR v roce 2030

Licence ERÚ uděluje na:

- výrobu elektřiny, výrobu plynu, přenos elektřiny, přepravu plynu, distribuci elektřiny, distribuci plynu, uskladňování plynu, výrobu tepelné energie, rozvod tepelné energie, a to na dobu nejméně 25 let,
- obchod s elektřinou nebo obchod s plynem na dobu určitou, a to nejméně na 5 let,
- činnosti operátora trhu s elektřinou a plynem na dobu nejméně 25 let.

SEI je kontrolním orgánem, který dohlíží na dodržování energetického zákona, zákona o hospodaření s energií (406/200 Sb.) a zákona o cenách (526/1990 Sb.).

Energetický regulační úřad reguluje jen ty ceny, které nejsou produktem soutěže. Ceny výrobců a ceny obchodníků/dodavatelů určuje trh, platí zde ekonomický zákon nabídky a poptávky. Cena, za kterou se elektřina nakoupí na trhu, může být značně proměnlivá. Prodejní i nákupní cenu při obchodování s elektřinou mohou ovlivnit ještě další vlivy, například odchylky mezi smluvními objemy elektřiny a skutečně naměřenými hodnotami, které musí každý

obchodník působící na trhu s elektřinou (řízeného operátorem trhu) zaplatit. Obchodování na trhu s elektřinou tak může výrazně ovlivnit úspěšnost podnikání.

ÚČASTNÍCI TRHU S ELEKTŘINOU

Základní strukturu trhu s elektřinou tvoří výrobní, přenosová soustava, distribuční soustavy a spotřebitelé elektřiny. Dalšími účastníky trhu jsou obchodníci s elektřinou a operátor trhu s elektřinou. Funkci, regulující trh s elektřinou, má Energetický regulační úřad.

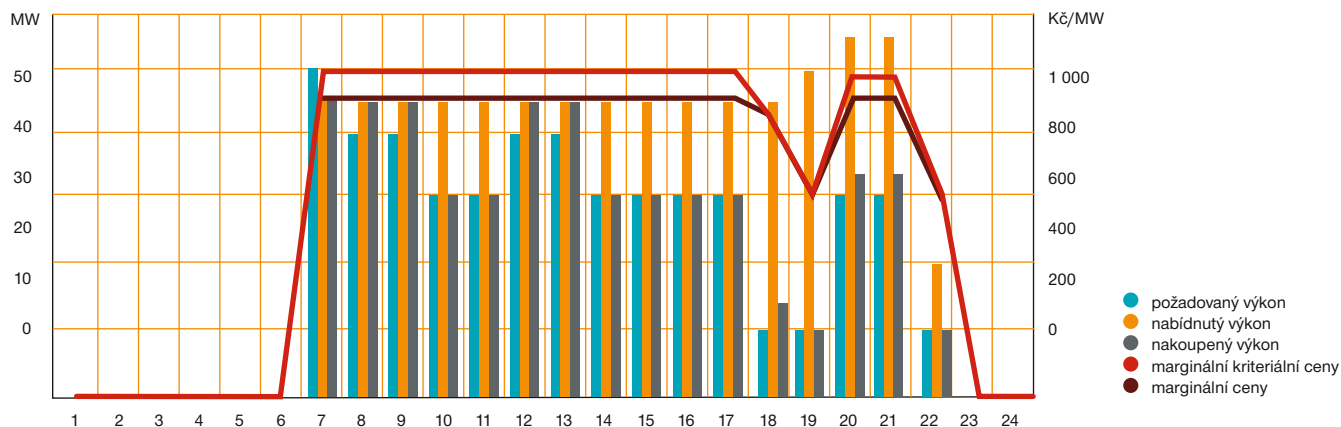
Elektřina se může dopravovat také přímo mezi výrobcí a konečnými zákazníky po tzv. přímých vedeních. Všechny druhy smluv musí být nahlášeny operátorovi trhu, který provádí konečné zúčtování včetně vypořádání odchylek, vzniklých v elektrizační soustavě.

VÝROBCI ELEKTŘINY

Největší podíl na výrobě elektřiny v ČR mají uhelné a jaderné elektrárny. Hlavním

výrobcem elektřiny v ČR je energetická společnost ČEZ, a.s. Dalšími velkými tuzemskými výrobci jsou například: Elektrárny Opatovice, a.s., ECKG Kladno, a.s., Energotrans, a.s., Dalkia Morava, a.s. Elektřina se vyrábí rovněž v průmyslových podnicích, teplárnách, spalovnách odpadů a v dalších zdrojích. Při výrobě elektřiny z těchto zdrojů vznikají odpady. Jejich minimalizace a ukládání vyžaduje dodatečné náklady, které se promítají do celkových výrobních nákladů.

Státní energetická koncepce podporuje výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, které nezatěžují životní prostředí (energie vody, Slunce, větru, biomasy). Předpokládá se, že podíl elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny významně poroste. Podíl Skupiny ČEZ na výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů v ČR přesahuje 50 %. V roce 2008 dosáhl podíl elektřiny vyrobené v uhelných elektrárnách 65 % z celkového množství 83,5 TWh vyrobené elektřiny (brutto vyrobená elektřina). V jaderných elektrárnách se v roce 2008 vyrobilo 26,5 TWh, ve vodních a ostatních obnovitelných zdrojích 3 %, v plynových elektrárnách 3 %.



Příklad vyhodnocení denního trhu s podpůrnými službami ze 6. 5. 2005

PROVOZOVATEL PŘENOSOVÉ SOUSTAVY

Přenos a distribuce elektřiny mají charakter tzv. přirozeného monopolu.

Spotřebitelé jsou většinou připojeni právě k přenosovým nebo distribučním sítím a nemají jinou možnost odběru elektřiny. Je to důsledek toho, že paralelní vybudování konkurenčních přenosových a distribučních sítí by bylo neekonomické.

Počínání provozovatelů přenosové soustavy a distribučních soustav je proto usměrňováno vyhláškami Energetického regulačního úřadu, který tím chrání konečného spotřebitele.

Pravidla provozování přenosové soustavy jsou zpracována v tzv. kodexu přenosové soustavy.

Přenosová soustava, jejímž provozovatelem v České republice je akciová společnost ČEPS, má dvě základní funkce:

- zajištění spolehlivého a bezpečného provozu celé soustavy,
- přenos elektřiny na velké vzdálenosti v ČR a ze zahraničí, popř. naopak za hranice našeho státu.

Zajištění provozu soustavy

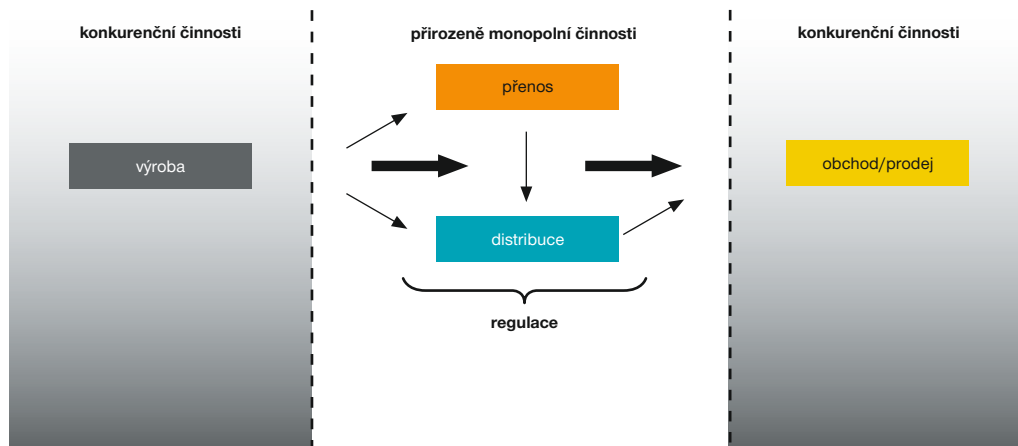
Pro spolehlivý provoz elektrizační soustavy je nutné zajistit v každém okamžiku rovnováhu výroby a spotřeby elektřiny při kolísající spotřebě a poruchách na straně výroby. Toto zajišťuje formou poskytování systémových služeb provozovatel přenosové soustavy a využívá k tomu tzv. podpůrných služeb, které nakupuje od ostatních subjektů, především výrobců. Jednotlivé podpůrné služby jsou nakupovány na víceleté, roční nebo měsíční bázi formou výběrových řízení nebo též na denním vyrovnávacím trhu.

Subjekty připojené do elektrizační soustavy mají právo, ne povinnost, nabízet podpůrné služby, a to za předpokladu, že splňují technická a obchodní kritéria stanovená společností ČEPS a jejich zařízení má příslušnou certifikaci.

Podpůrné služby jsou definovány jako činnosti fyzických nebo právnických osob pro zajištění provozování elektrizační soustavy a pro zajištění kvality a spolehlivosti dodávky elektřiny. Jejich ceny vznikají na tržním principu Výběrová řízení na dlou-

hodobé dodávky se vypisují na jednotlivé kategorie podpůrných služeb. Používají se nabídkové ceny, tj. poskytovateli konkrétní podpůrné služby je tato služba hrazena ve výši, kterou uvedl v nabídce. Takto je nakoupeno zhruba 90 % těchto služeb. Zbývající část je nakupována prostřednictvím tzv. denního vyrovnávacího trhu s podpůrnými službami. Na denním trhu pro každou obchodní hodinu následujícího dne vznikne tzv. marginální cena, tj. cena nejdražší přijaté nabídky dané podpůrné služby. Touto cenou jsou pak zaplacení všichni ostatní akceptovaní poskytovatelé. Podpůrné služby jsou např.:

1. Primární regulace frekvence bloku
2. Sekundární regulace výkonu bloku
3. Terciární regulace výkonu bloku
4. Rychle startující 10 a 30minutová záloha
5. Dispečerská záloha
6. Změna zatížení
7. Snížení výkonu
8. Sekundární regulace napětí a jalových výkonů
9. Schopnost ostrovního provozu
10. Schopnost startu ze tmy



Regulace monopolních činností

Systémové služby, které na základě nakoupených podpůrných služeb poskytuje ČEPS, zajišťují kvalitu a spolehlivost dodávky elektřiny na úrovni přenosové soustavy a plnění mezinárodních závazků a podmínek propojení elektrizační soustavy ČR. Kvalitou se rozumí zejména parametry frekvence a napětí. Spolehlivostí dodávky se rozumí nepřerušenosť dodávky v odběrných místech definovaná průměrným počtem a trváním dílčích výpadků dodávky v jednotlivých předacích místech.

Mezi systémové služby patří:

- udržování primární regulační zálohy,
- sekundární regulace frekvence a předávacích výkonů,
- terciární regulace výkonu,
- zajištění provozní zálohy,
- sekundární regulace napětí a jalových výkonů,
- terciární regulace napětí a jalových výkonů,
- zajištění stability přenosu,
- obnovování provozu po úplném nebo částečném rozpadu soustavy (ztrátě napětí),

- zajištění kvality napěťové sinusovky.

Vůči spotřebitelům se systémové služby tváří jako jedna služba. Jsou placeny současně s platbou za silovou elektřinu:

- všemi konečnými zákazníky (i v tzv. ostrovních režimech),
- samovýrobci propojenými s elektrizační soustavou.

Poplatky za systémové služby vybírají provozovatelé distribučních soustav a výrobci a předávají je ČEPS, a. s. Výši poplatku za systémové služby každoročně stanovuje Energetický regulační úřad v příslušném Cenovém rozhodnutí pro následující kalendářní rok. Aktuální výši naleznete na www.eru.cz.

ZAJIŠTĚNÍ PŘESHRAŇIČNÍCH PŘENOSŮ

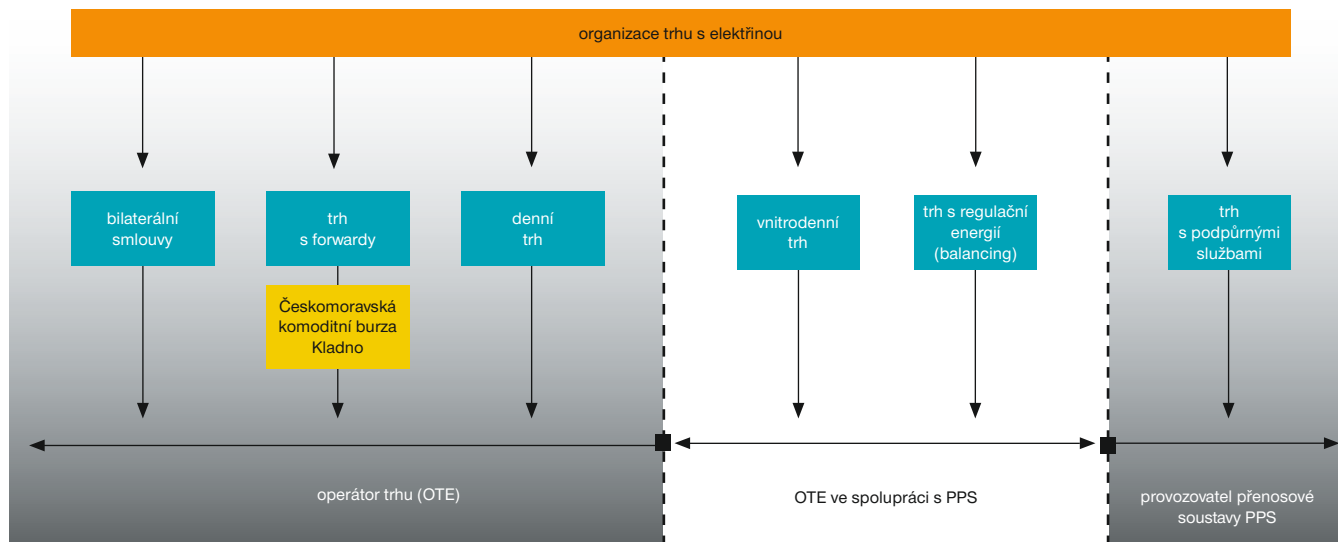
Pro umožnění vývozu a dovozu elektřiny se prostřednictvím aukcí přidělují obchodníkům práva na využití přenosových kapacit na přeshraničních vedení velmi vysokého napětí. Aukce jsou založeny na dvoustranné nebo i regionální dohodě provozovatelů

přenosových soustav. Organizují se roční, měsíční a denní aukce. V případě denní aukce se přenosové kapacity nabízejí pro jednotlivé obchodní hodiny následujícího dne. V poslední době bylo zahájeno přidělování přeshraniční kapacity i uvnitř dne na několik hodin dopředu. Přeshraniční přenos je zdarma, obchodník však musí zaplatit aukční cenu za přidělená práva. V případě dostatku přenosové kapacity může být aukční cena nulová.

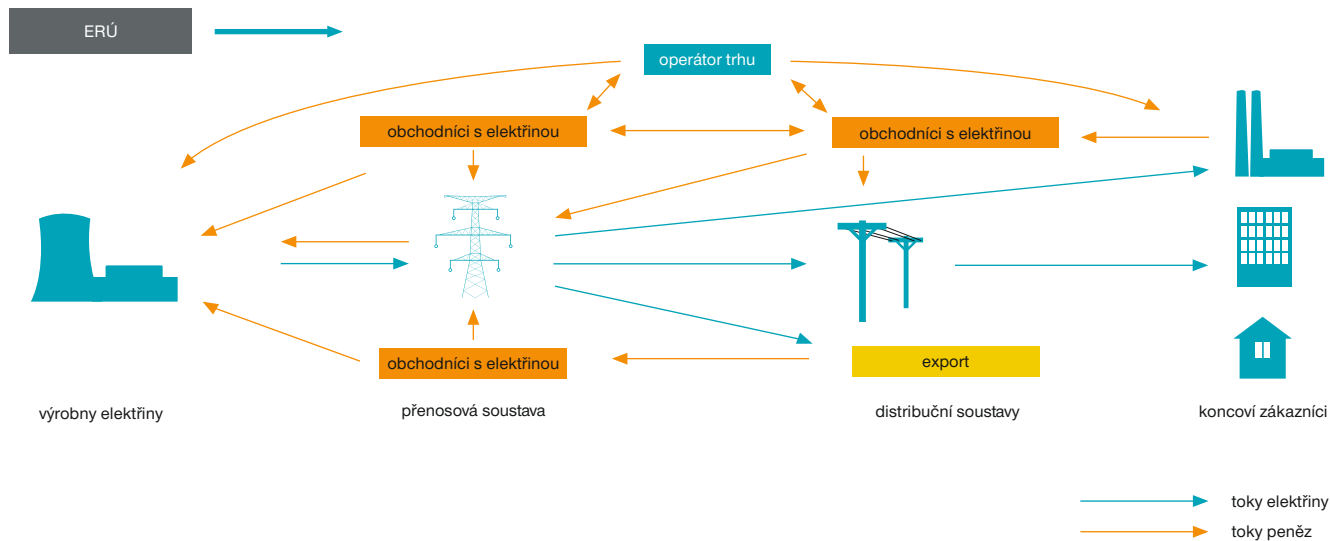
PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV

Distribuční soustavy zabezpečují distribuci elektřiny až ke konkrétnímu konečnému spotřebiteli. V ČR působilo osm velkých provozovatelů distribučních soustav (REAS), pět z nich se v roce 2003 stalo součástí Skupiny ČEZ. Dále na území ČR působí dva další velcí a řada menších distributorů.

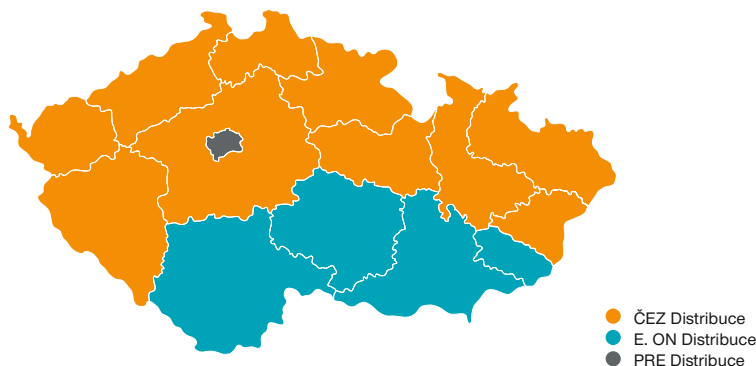
Spotřebitelé elektřiny mají právo na připojení k distribuční soustavě podle Energetického zákona. Musí přitom splnit podmínky stanovené prováděcí vyhláškou k zákonu a obchodní podmínky stanovené



Typy obchodů na trhu s elektřinou



Účastníci trhu s elektřinou



Mapa provozovatelů distribučních soustav

Pravidly provozování distribučních soustav. Povinnost dodat elektřinu každému, kdo o to požádá na území zásobovaném z regionálních distribučních soustav, měly elektrárenské společnosti již od roku 1919, kdy byl schválen zákon o vzniku všeužitečných elektrárenských společností.

OBCHODNÍCI S ELEKTŘINOU

Obchodník s elektřinou je fyzická nebo právnická osoba, která je držitelem licence na obchod s elektřinou a nakupuje elektřinu za účelem jejího prodeje. Obchodní licenci mají například někteří výrobci elektřiny. Obchodník s elektřinou ale nemusí elektřinu vyrábět ani vlastnit síť. Na území ČR působí řada subjektů, které s elektřinou jen obchodují. Obchodníci s elektřinou nakupují elektřinu od držitelů licence na výrobu a obchod a prodávají ji účastníkům trhu. Mohou rovněž nakupovat elektřinu v zahraničí a prodávat elektřinu do zahraničí. Obchodník musí respektovat pravidla trhu, kodex přenosových a distribučních soustav.

Elektřina se stala komoditou, s níž se již obchoduje i na burze.

Otevření Energetické burzy Praha v roce 2007 znamenalo jednu z největších změn v sektoru elektroenergetiky. Statut Energetické burzy Praha (PXE, od 15. 7. 2009

přejmenována na Power Exchange Central Europe) byl schválen ministerstvem průmyslu a obchodu, rozvádí obecná ustanovení zákona a konkrétně definuje práva jednotlivých burzovních orgánů a účastníků obchodování. Zakladateli burzy jsou společnost Burza cenných papírů, a.s., UNIVYC, a.s., a společnost CENTRAL COUNTERPARTY, a.s.

Energetická burza Praha je novou obchodní platformou určenou pro obchodování s elektrickou energií v České republice a na Slovensku. Byla založena s cílem nastavit nová pravidla pro obchodování s elektrickou energií. Obchodování s elektřinou tím vstoupilo do zcela nové etapy, ve které o ceně rozhoduje hlavně vztah aktuální nabídky a poptávky.

Energetická burza Praha je prvním trhem svého druhu ve střední a východní Evropě. Inspirací pro její vznik a systém cenotvorby byly v Evropě fungující energetické burzy. Energetická burza Praha zajišťuje všem účastníkům burzy stejné podmínky pro obchodování bez ohledu na velikost jejich transakcí. Jednou z největších devíz obchodování s energií na burze je transparentnost cenotvorby elektrické energie, která je založena na identických principech běžně fungujících i v jiných státech Evropské unie. Jedním z největších přínosů nového

trhu je kontinuální obchodování elektrické energie, a to nejen na jeden rok, nýbrž na celé tři roky dopředu. Tento fakt přináší na trh cenovou stabilizaci, usnadňuje predikci vývoje cen a výrazně tím přispívá k eliminaci cenových šoků. Ve světě je řada dalších energetických burz: Amsterdam Power Exchange, Energy Exchange Austria, European Energy Exchange, M-Co, New York Mercantile Exchange, Inc (NYMEX/COMEX), Nordpool (The Nordic Power Exchange), Polish Power Exchange, Powernext SA.

Koneční spotřebitelé kupují elektřinu pro vlastní užití. V současné době je trh s elektřinou do té míry liberalizován, že zákazníci mohou nakupovat od libovolného dodavatele elektřiny, kterého si zvolí.

OPERÁTOR TRHU S ELEKTŘINOU

Operátor trhu s elektřinou, a.s. (OTE) organizuje obchodování na denním a vnitrodenním trhu s elektřinou. Účastníkům trhu s elektřinou nabízí nepřetržitě zpracování a výměnu dat a informací pro zúčtování a finanční vypořádání odchylek mezi smluvními a skutečnými hodnotami dodávek a odběrů elektřiny. Současně spravuje národní rejstřík na emise skleníkových plynů a provozuje portál pro obchodování s elektřinou z kombinované výroby elektřiny



Tady probíhají obchody s elektřinou



Elektroměr

a tepla. Činnost operátora trhu s elektřinou vyžaduje udělení licence od Energetického regulačního úřadu. Tuto licenci vlastní OTE, a.s.

K základním činnostem OTE patří:

- zpracování obchodní bilance elektřiny podle údajů předávaných účastníky trhu s elektřinou,
- organizování krátkodobého trhu s elektřinou a ve spolupráci s provozovatelem přenosové soustavy vyrovnávání trhu s regulační energií,
- vyhodnocení odchylek na základě smluv o dodávce elektřiny subjektů zúčtování nebo registrovaných účastníků trhu a skutečně naměřených dodávek a odběrů elektřiny registrovaných účastníků trhu,
- zajišťování zúčtování a vypořádání odchylek mezi subjekty zúčtování,
- zpracování měsíční a roční zprávy o trhu s elektřinou v České republice,
- zpracování zpráv o budoucí očekávané spotřebě elektřiny a o způsobu jejího krytí zdroji elektřiny a o předpokládaném vývoji trhu s elektřinou,
- zpracování podkladů pro návrh pravidel trhu s elektřinou včetně pravidel pro zúčtování odchylek a oprávněných vícenákladů způsobených účastníkem trhu s elektřinou při činnostech bezpro-

středně zamezujících stavu nouze, při stavech nouze a při likvidaci následků,

- zajišťování skutečných hodnot dodávek a odběrů elektřiny pro účastníky trhu s elektřinou,

- zpracování obchodních podmínek operátora trhu s elektřinou a jejich zveřejňování po schválení Energetickým regulačním úřadem,
- zajišťování zpracování typových diagramů dodávek,
- zúčtování a vypořádání regulační energie,
- správa veřejně přístupného rejstříku obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů.

OBCHODOVÁNÍ S ELEKTŘINOU

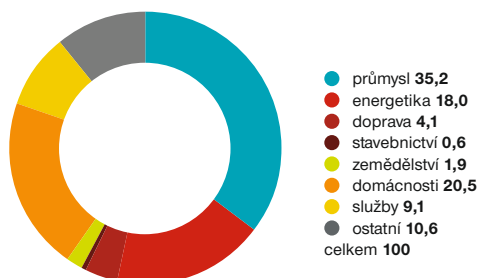
Většina elektřiny se nakupuje a prodává na základě dvoustranných obchodů mezi výrobcem a konečným spotřebitelem (přímé dodávky) nebo mezi výrobcem a obchodníkem a hlavně mezi obchodníkem a konečným spotřebitelem. Tyto obchody se obvykle uzavírají na delší časové období dodávky (týden, měsíc, rok nebo bez časového určení) a jsou charakterizovány objemem obchodované elektřiny, jednotkovou cenou a časem, kdy k dodávce dojde.

Operátor trhu s elektřinou musí být informován o technických údajích obsažených v uzavřených smlouvách.

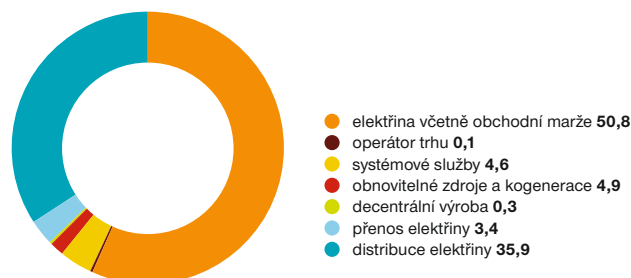
Na světových burzách se elektřina rovněž obchoduje ve formě finančních produktů (například opce, forwards atd.). Tyto produkty jsou nástrojem obchodníků, kteří je využívají pro snížení rizik vyplývajících z obchodování. Elektřina se jako finanční produkt prodává za předem stanovenou cenu na určité časové období v budoucnosti (týden, měsíc, rok). V tomto případě ale nemusí vždy dojít k fyzické dodávce elektřiny, ale jen k finančnímu vyrovnání mezi obchodníky, které zajišťuje burza.

OTE, a.s., je také organizátorem krátkodobého denního trhu s elektřinou (systém OKO). Krátkodobý trh se využívá k nákupu nebo prodeji elektřiny jako doplněk dvoustranných obchodů, podle aktuální situace účastníka trhu pro daný den.

V systému OKO se obchoduje s elektřinou na 24 hodin následujícího dne, přitom se obchodní partneři vybírají anonymně na základě nabídky a poptávky a k uzavření kontraktu dochází v rámci počítačového systému OKO. Trh s podpůrnými službami organizuje provozovatel přenosové soustavy ve formě ročních, měsíčních aukcí a denního trhu na základě poptávky a nabídky.



Spotřeba elektřiny v ČR podle odvětví v r. 2007 (%)



Struktura ceny za dodávku elektřiny pro domácnost (zdroj: ERÚ, 2009)

Od roku 2006 je trh s elektřinou v ČR plně otevřený a všichni koneční zákazníci si mohou zvolit svého dodavatele.

CENU ELEKTŘINY NEURČUJE ŽÁDNÝ VÝROBCE, ALE TRH – TEDY ENERGETICKÁ BURZA

Cena elektřiny je dána nabídkou a poptávkou v celém regionu střední Evropy. Cena elektřiny v Praze je tak prakticky stejná, jako třeba v Lipsku a věrně odráží náklady na její výrobu v celém propojeném středoevropském regionu.

Cena elektřiny se rovná nákladům na provoz i toho posledního zdroje, který ještě musí být zapojený, aby bylo dost energie pro všechny. Když je poptávka malá, jedou jen elektrárny s levným provozem, vodní, jaderné a hnědouhelné. Elektřina je pak levná. Když poptávka roste, musí se zapojit i dražší elektrárny černouhelné, plynové, či dokonce ty nejdražší na topné oleje. Cena pak roste, aby se zaplatil i jejich provoz. Dlouhodobě cena elektřiny roste ze tří hlavních důvodů. Růst poptávky nutí zapojovat dražší zdroje, ubývá levných zdrojů (dochází uhlí a některé jaderné elektrárny se odpo-

jují) a zdražují paliva (i povolenky vypouštět CO₂, které uhelné a plynové elektrárny potřebují k svému provozu).

Krátkodobě může cena elektřiny klesnout, pokud se propadne poptávka a cena paliv. Dlouhodobě ale cena klesne pouze, pokud se postaví dost levnějších zdrojů.

SLOŽKY CENY ELEKTŘINY PRO KONCOVÉHO UŽIVATELE

1. Regulované složky:

- Distribuce
- Systémové služby
- Krytí vícenákladů spojených s podporou výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů
- Činnost operátora trhu

2. Neregulovaná složka – silová elektřina

3. Daně (DPH a ekologická daň)

JMENNÝ REJSTŘÍK

Daft Leo 60, 61
Davenport Thomas 59
Davidson A. 59
Diviš Prokop 55
Edison Thomas Alva 13, 59, 62
Einstein Albert 30, 31
Euler Leonhard 21
Hirohito, japonský císař 65
Hosnedl V. 16
Joule James Prescott 22
Kemper H. 68
Křížík František 60, 61, 62
Laithwait E. R. 68
Lomonosov Michail Vasiljevič 21
Mayer Robert 21
Nechleba M. 16
Onnes Kammerlingh 16, 17
Page Ch. G. 59
Planté Gaston R. 13
Poynting J. H. 32
Saji Yoshiro 70
Siemens Werner 59, 60, 62
Stephenson George 59
Thompson Benjamin, lord Rumford 22
Umov N. A. 32
Verne Jules 70
Vitruvius Marcus 35, 36, 42

Grafická úprava a sazba: www.marvil.cz

Ilustrace: Martina Hamouzová

Fotobanka: Profimedia

Materiál je součástí vzdělávacího programu ČEZ, a. s., Svět energie. Je určen k bezplatnému šíření pro vzdělávací účely.

Autoři publikace vynaložili veškeré úsilí identifikovat autory všech reprodukováných fotografií, bohužel se to ve všech případech nepodařilo.

Nabídku dalších materiálů vzdělávacího programu Svět energie naleznete na www.cez.cz/vzdelavaciprogram

2011 © ČEZ, a. s., sekce komunikace, Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4, tel.: 211 042 681

