

Chaos kolem nás a jak ho řídit.

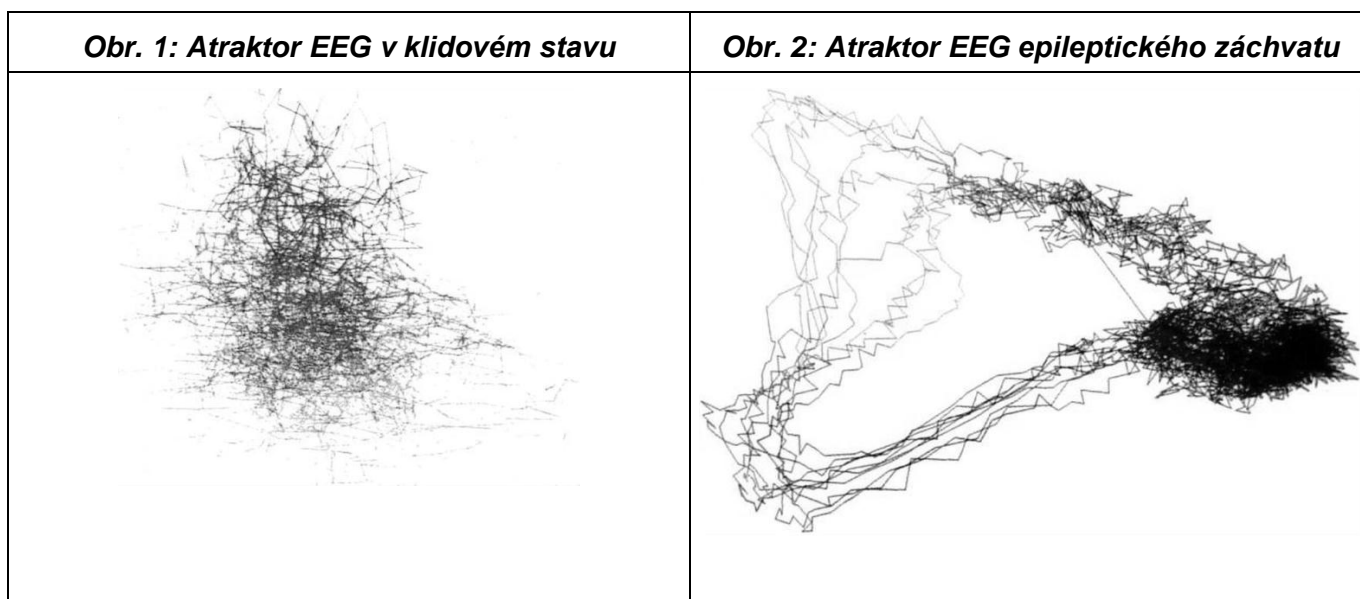
Mgr. Petr Nakládal, petr.nakladal@iex.cz

Souhrn

Text článku je zaměřen na principy klasického a chaotického řízení procesů. Na konkrétních příkladech z letectví, kosmonautiky, přírodních věd a také na prezentovaných haváriích na TVIP 2018 je ukázána možnost uplatnění chaotického řízení včetně využití znalostí podstaty chaosu při prevenci rizik.

Úvod

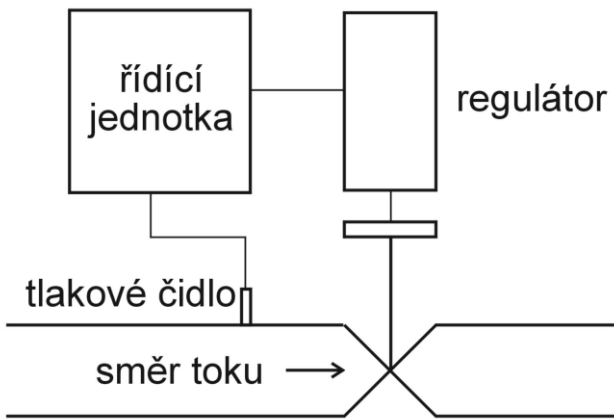
Podstatou celého vesmíru tak i lidské společnosti jsou chaotické systémy. Jsou to systémy kde výsledný vývoj sledované veličiny je velmi citlivý na přesnosti určení vstupních parametrů procesu (jeden nebo více). Už od narození vlastníme základní regulátor chaosu kolem nás, který také pracuje na chaotickém principu. Je jím náš mozek. Změna chaosu v části mozku na deterministický cyklus je příčinou nemoci známou jako epileptický záchvat (obr. 1 a 2). Chaos a chaotické řízení je nám proto přirozené, jen si to v rozvinuté technickoprůmyslové civilizaci přestáváme uvědomovat. Obdobou lidského mozku je počítač. Pokud jste někdy někdo monitoroval hlavní datovou sběrnici počítače (já s tím skončil u procesorů 386), tak víte, že ten chaos čísel (ne zmatek, čísla mají svůj vnitřní řád) je na ní nepředstavitelný. Přesto počítač reaguje deterministicky a jen vykonává instrukce, co jsme mu zadali. Pokud dojde na sběrnici k zacyklení, pak proces přestane fungovat a počítač (systém) „spadne“.



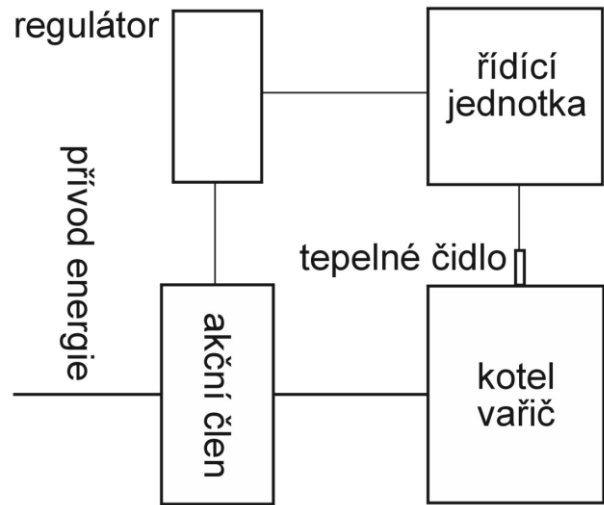
Abych mohl vysvětlit podstatu řízení chaosu nebo jeho praktickém využití tak nejprve budu prezentovat dva klasické modely řízených procesů. Prvním modelem je přírodní potrubí uzavírané šoupětem. Pokud má potrubí velký průměr a velkou délku (třeba vodovodní přivaděč z Káraného nebo z oblasti Česká Lípa - jih) pak ho nemůžeme uzavřít ihned. Vzniklý hydrodynamický ráz podmíněný setrvačností vody proudící v potrubí by trubky roztrhal (obr. 3). Druhým procesem bude ohřev tělesa například pomocí elektrického proudu nebo plynového hořáku (obr. 4). Příklady regulace budou ukázkou, jak si jednotlivé přístupy k řízení procesu poradí s uvedenou problematikou.

Metody řízení procesů

Obr. 3: Regulace ventilu

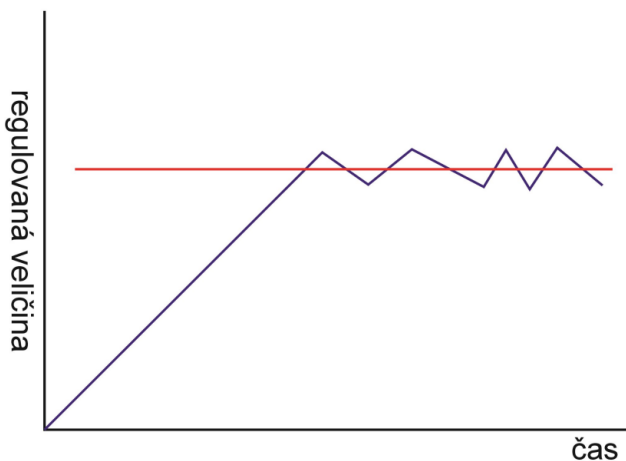


Obr. 4: Regulace topení

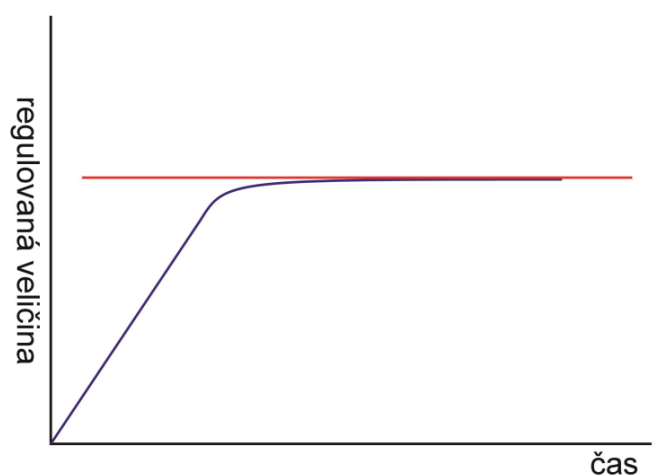


První přístup bude ryze deterministický. Šoupě zavřu nebo topení zapnu a děj se vůle boží. Pokud mám potrubí dimenzované na pohlcení rázu (každý už někdy slyšel ty rány, když praštíte do pákových baterií) nebo mi nevadí červený žár rozpálené elektrické plotýnky tak se o nějakou regulaci nemusím starat. Pokud ale nechci namáhat potrubí nebo způsobit požár od zapnutého vaříče tak nejjednodušším způsobem regulace je dát před šoupě (uzavírací ventil, servo ap.) tlakový pojistný ventil nebo vybavit vaříč (plynový kotel) tepelnou pojistkou, která znemožní jeho přehřátí. Sofistikovanější regulace procesu bude nutná, když chci šoupě na potrubí zavřít co nejrychleji nebo co nejrychleji rozehrát například kotel. Klasickým příkladem řešení problematiky je vybavit potrubí před šoupětem tlakoměrem nebo kotel tepelným čidlem a proces zavírání šoupěte nebo ohřevu řídit regulačním systémem. Tlakové nebo teplotní čidlo měří vstupní data, řídící jednotka stanoví regulační odchylku a přes regulátor ovlivňuje tok vody nebo elektrický proud (přísun paliva). Tlak vody před šoupětem nebo teplota kotle kolísá o regulační odchylku a setrvačnost procesu kolem nastavené hodnoty (obr. 5). Řídící jednotky mohou zohledňovat i rychlost procesu. Tento systém regulace se nazývá proporcionálně integračně derivační (PID regulátory). Někdy je potřeba požadované hodnoty regulované veličiny pouze dosáhnout ale nepřekročit ji ani o regulační odchylku. Takové procesy jsou už počítačově řízeny na podkladě změřených parametrů regulovaných systémů (např. technologické ohřevy, řízení chemických procesů - výroba TNT, viz obr. 6).

Obr. 5: Průběh regulace, příklad 1

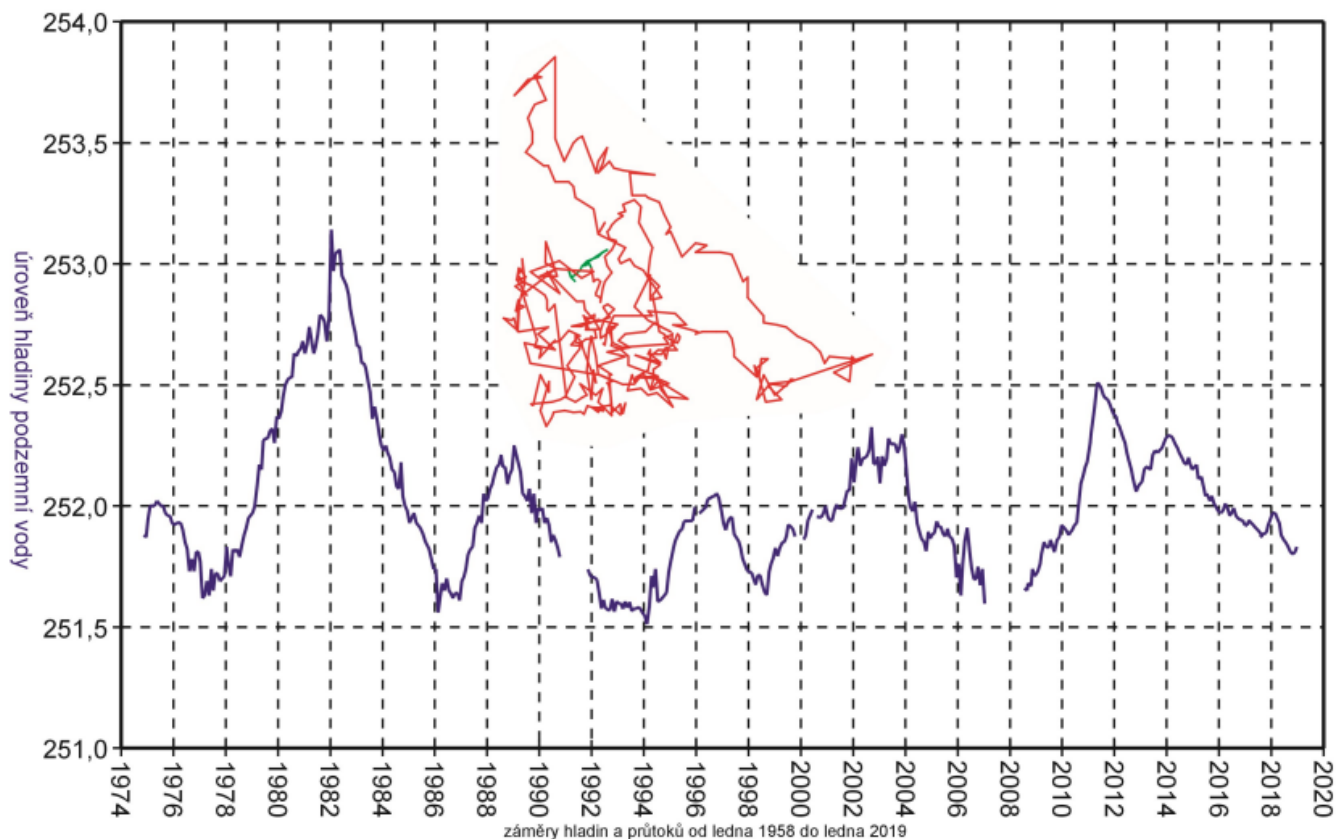


Obr. 6: Průběh regulace, příklad 2



Do některých procesů vstupuje větší množství vstupních veličin i s primárně chaotickými vlastnostmi, přitom od výstupu procesu se požaduje deterministické chování. S procesem se kterým jsem se takto setkal, je energetické spalování uhlí (Kladno, Mělník, Ledvice). Výstupem z řízeného systému (kotle) by mělo být množství páry závislé na momentálním chaotickém požadavku odběratelů o definované teplotě a tlaku. V současné době se při spalovacím procesu navíc musí dodržovat parametry odsíření a emisí CO₂ a nitrátů. Vstupem procesu spalování je ale uhlí o významně proměnlivých parametrech hlavně v obsazích jílových minerálů (popelnatost a výhřevnost) a síry. Při fluidním spalování se k rozemletému uhlí přidává rozemletý vápenec (k odsíření) také o proměnlivých fyzikálně chemických vlastnostech (velikost zrn a opět vliv obsahu jílových minerálů). Jak vlastní proces spalování tak i energetický výstup vykazují významně chaotické vlastnosti. Chaos v kotlích je v elektrárnách a teplárnách řízen obsluhou velinů pomocí klasických regulačních jednotek. Cenou za stabilní tok páry o definovaném tlaku a teplotě a kvalitním odsíření zplodin hoření je výrazně chaotické mineralogické složení popelovin, které znesnadňuje jejich zpracování. To je také příčinou (mimo lobing cementářů v parlamentu) proč nelze z fluidních popelovin vyrábět cement. Pokud by měl být v budoucnosti z fluidních popelovin cement vyráběn, pak by se měl proces spalování řídit na základě studia vývoje tohoto nelineárního dynamického systému.

Obr. 7: Hydrogram úrovně hladiny podzemní vody v oblasti obce Sosnová a jeho atraktor



Řízení procesu podle zákonitostí chaosu vysvětlím na jednoduchém příkladu. Lomy a pískovny bývají často cílem obvinění, že se lidem ztratila ve studnách nebo v pramenech voda. Co je na tom, že těžebna je na míle vzdálená od vesnice. Všichni přece vědí, že voda se ztratila toho dne, co se v lomu střílelo. Občanům je úplně jedno, že se v lomu střílí každý den. Všichni obviňují těžbu, ale nikdo si nevšimne, že se voda ztratila, když si ve vesnici jiný občan nechal prohlubovat studnu vrtem, případně si vybudoval systém vrtů pro tepelná čerpadla nebo se vydatnost studny snižuje už řadu let. Jen pro úplnost dodám, že jsem i občas dostal nabídky na významnou finanční odměnu za posudek, který určí jako viníka těžebnu (argument - mohli by nám ve vesnici postavit vodovod, protože na to mají peníze). Obviňování ze ztráty vody bývá časté v klimaticky suchém období, kdy zdroje podzemní vody jsou vysoce náchylné na zásahy do hydrogeologického kolektoru. Proto těžbařům doporučuji kritické úseky rozšiřování těžby (otevření nového dobývacího prostoru, těžba z vody) nechat na období kdy poroste

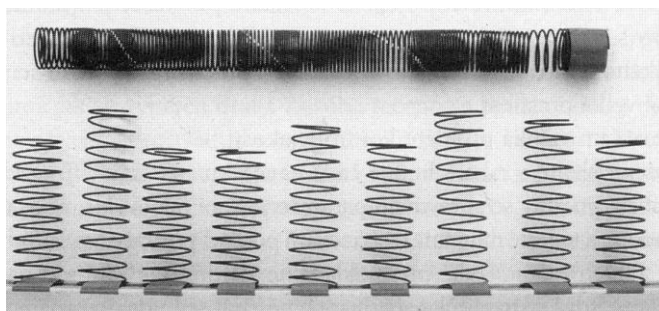
infiltrace atmosférických srážek do podzemních vod. Když vesnicí budou téct povodně a lidé budou mít podmáčené domy tak je absurdní si stěžovat na nedostatek vody. Jak ale takové období zjistím? Na predikci období se zvýšenou infiltrací v oblasti severních Čech dlouhodobě požívám měřené hladiny podzemní vody v oblasti obce Sosnová (obr. 7). Tamní hydrologické a geologické podmínky znemožňují negativní vliv lidských zásahů do hladiny podzemní vody (200 m pískovce, mimo vlivu vodárenských odběrů). Z hydrogramu úrovní hladin je zřejmé, že hladiny podzemní vody nabývají omezených hodnot a kolísají v cyklech odpovídajících klimaticky suchým a vlhkým obdobím. Nad hydrogramem je červeně zobrazen jejich atraktor sestavený metodou zmnožení řad. Z vytvořeného atraktoru ve tvaru pavoukovce štírka obecného (*Chelifer cancroides*) je vidět, že se jedná o chaotický systém s vnitřním řádem (dvě infiltrační území). Z pozice současného vývoje atraktoru (zeleně) předpokládám, že se nacházíme v oblasti s kritickým vývojem. Odhaduji, že v severních Čechách může v nadcházejících letech dojít k povodním (čára atraktoru se blíží do oblasti klepet). To znamená optimální podmínky pro zahájení kritických úseků těžby.

A jak by mohlo vypadat takové chaotické řízení hnědouhelného kotle na fluidní spalování? Z počátku by bylo nutné změřit časové řady vlivu vstupních parametrů (obsah síry, popelnatost a výhřevnost uhlí, kvalitu vápence, množství vzduchu přiváděného do kotle ap.) na výstupní hodnoty (teplota, tlak a množství páry, odsíření, NO_x). Když se v časových řadách podaří najít systém a vytvořit jeho atraktory, pak se prokáže, že spalovací proces je systém chaotický (determinovaně chaotický). Na podkladě atraktorů (patrně vícerozměrných) bude možné predikovat chování vstupních parametrů a podle nich řídit spalovací proces tak, aby i výsledné hodnoty popelovin splňovaly požadované parametry kladené na výrobu cementu. To, že takové systémy ve světě fungují, je možné doložit učebnicovým příkladem zařízení na měření kvality drátů určených k navíjení pružin. Zařízení Fracmat (obr. 8, rok 1995) na podkladě analýzy chaosu dokáže stanovit vhodnost měřeného drátu k navíjení pružin (obr. 9, 10 a 11). Podle publikace ušetří zařízení výrobcům pružin 50 milionů EU ročně. Dalšími učebnicovými příklady jsou využití atraktorů pro řízení kardiostimulátorů nebo generování elektrických pulzů pro potlačení projevů epilepsie.

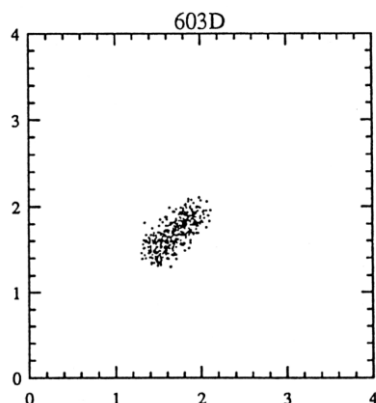
Obr. 8: Zařízení Fracmat



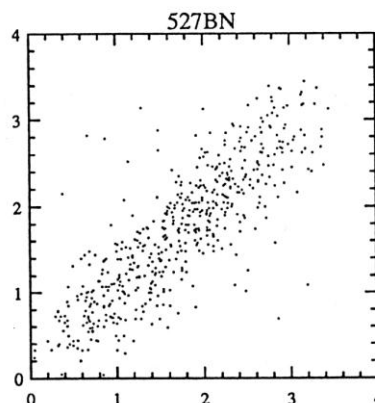
Obr. 9: Navinutá zkušební pružina



Obr. 10: Atraktor kvalitního drátu



Obr. 11: Atraktor nekvalitního drátu

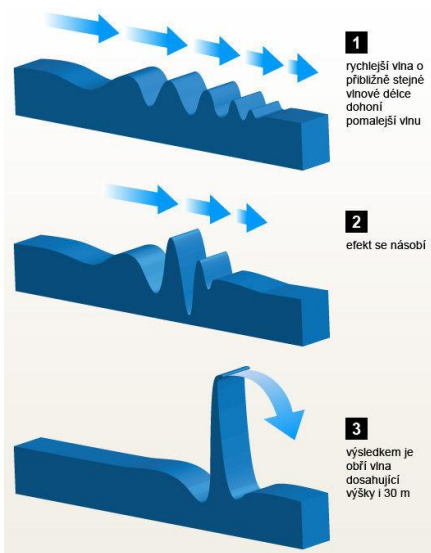


Využití principů teorie chaosu v praxi

Principy chaosu v řízení se hojně využívá i v kosmonautice. Jako první se tyto principy používaly pro sledování stability dráhy letu družic na oběžné dráze. Nebylo možné, aby Rusové nebo Američané v počátcích kosmonautiky sledovali družici po celé dráze letu. Pokud ale družice prolétala nad jedním místem v totožné výšce při stejné rychlosti, pak měla uzavřený atraktor a její let byl tím pádem cyklický. Jak se pohybovala na jiných místech trajektorie, bylo v té době úplně jedno. V roce 1985 bylo chaotické řízení použito k navedení „mrtvé“ sondy ISEE3/ICE z oblasti oběžné dráhy kolem země k blízkosti komety Giacobini - Zinner. Korekce dráhy fungovala na principu pohybu tří těles v gravitačním poli, který je v principu chaotický (text předchozí přednášky). Dráha procházející blízko „neutrálního bodu“ mezi Zemí a Měsícem je citlivá na malé změny (obdoba kdy stojíte na kopci a spletete si směr sestupu). Několika malými korekcemi dráhy sondy pomocí zbytků paliva se lidem z NASA podařilo sondu řízeně přesunout o 80 milionů kilometrů mimo její původní oběžnou dráhu. Obdobným způsobem (chaos spojený s prakovým efektem gravitace) jsou v současnosti posílány sondy do vzdálených oblastí naší sluneční soustavy.

Protože chaos je charakteristický cyklickým chováním, lze u něho očekávat jev zvaný interference. Jedná se o součet účinků „vln“ jednotlivých chaotických systémů. Klasickým příkladem je interference vln mořských (obr. 12) způsobující tzv. obří vlnu (vlna zabiják, obr. 14). Ještě do nedávna byly obří vlny o výšce až 30 m považovány za nepodložené historky námořníků. Až v koncem devadesátých let se tyto vlny podařilo matematicky vysvětlit a na moři detekovat. Obdobně jako mořské vlny se chová i chaos v technické civilizaci. Velmi dobře je chaos řízen v letecké dopravě. Málo co je tak podrobně sledováno jak úmrtí až několika stovek osob v jednom okamžiku na jednom místě. Nejčastějšími příčinami leteckých nehod je lidská chyba, meteorologické podmínky a technické závady. Nehody vlivem technických závad se dají minimalizovat důkladnou údržbou. V případě letecké dopravy se jedná téměř o rozebrání a opětovné sestavení stroje. Meteorologické podmínky a lidská selhání neovlivníme. Proto se v letecké dopravě vyvinuly systémy na předvídání nebezpečných meteorologických jevů a posádky letadel jsou neustále cvičeni v řešení krizových situací.

Obr. 12: Vznik obří vlny



Obr. 14: Obří vlna, pohled z můstku trajektu



Technologická zařízení jsou sestavena z mnoha součástí. Technická zařízení technologických procesů podléhají entropii, čili neuspořádanost systému se postupně zvyšuje. Vrcholem je technická závada. Vlastní kapitolou jsou proměnlivé parametry vstupů technologických procesů, jako jsou již zmiňovaná kvalita uhlí, dodávky energií, vstupních surovin ap. Největší a nejméně známou proměnnou je chování lidí ve výrobním procesu. Každý máme lepší a horší dny ve svém životě. Někdy naše pozornost je ovlivněna nemocí, nevyspáním nebo prožitým stresem z minulých dní. Někteří lidé navíc bývají pohromáři už od narození. Nehody a kritické situace nebývají způsobené jednou příčinou, ale bývají vyvrcholením souhry drobných pochybení (interference příčin jinak souhra okolností). Na

TVIP 2018 byl prezentován výbuch zásobníku methylokrylátu (přednáška Ing. Josef Petr, Ph.D., Synthomer a.s.). Pracovník údržby chtěl uvolnit zarezlý šroub plamenem autogenu. Tím zapálil hořlavé páry v potrubí směřujícím do zásobníku. Je tu otázka minulosti tohoto pracovníka. Kolikrát něco podobného udělal, než došlo k interferenci událostí vedoucích k výbuchu zásobníku. Vzhledem k interferenci chaosu je nutné, aby v době nejpravděpodobnějšího selhání technologického zařízení (vynucené odstávky, generální opravy apod.) byly opravy a údržby realizované zodpovědnými a léty prověřenými pracovníky a ne najmutou bandou Bulharů, Ukrajinců, cikánů, Poláků (pozor nejsem rasista, mohu doložit případy – Kralupy, Milovice, Pardubice, Ostrava), kteří mnohdy ani netuší, co mají ve vytyčeném prostoru dělat, jak se mají chovat a na co si mají dávat pozor, i když podepíší nějaký cár papíru.

Klasickým případem vyřešení chaotické situace s dobrým koncem je přistání letadla s poškozenými motory na vodu v Hudsonově zálivu v roce 2009 (obr. 15). Pilot s mnoholetými zkušenostmi z bojových misí prvotřídně zvládnul výpadek motorů nad městem v malé výšce a zachránil tak 154 cestujících, i když na vodě přistával poprvé v životě. V tomto případě bylo použito lidem přirozeného řízení chaosu. Tím řízením je učení a schopnost improvizace. Jako příklad uvedu jízdu zatáčkou na kole nebo motorce (obr. 16).

Obr. 15: Úspěšné přistání na řece



Obr. 16: Průjezd zatáčkou



Z vlastní zkušenosti každý ví, že kolo nebo motorku je potřeba pro bezpečné projetí zatáčky dobře naklopit. Každá zatáčka a rychlost pohybu potřebuje trochu jiné naklopení stroje. K tomu se přiřazuje kvalita povrchu a další překážky v zatáčce. Systém se tak stává chaotický a je citlivější na změny čím rychleji jedeme. Zkuste si představit situaci, kdyby vyhláška o silničním provozu deterministicky předpisovala naklopení stroje vzhledem k poloměru zatáčky a rychlosti pohybu. Jakou by asi měl cyklista nebo motorkář pravděpodobnost, že zatáčkou projede? Při učení jízdy na kole se v zatáčkách každý musel několikrát vysekat, než se je naučil projet. V hlavě jsme si tak vytvořili cit (atraktor) pro projetí zatáčky. Podvědomě se tak učíme reagovat na chaos kolem nás, do té míry, že nám život tak chaotický ani nepřipadá. Schopnost improvizace je opět nedílnou složkou přirozeného řízení chaosu. Všimnul jsem si, že na TVIP jsou přítomny osoby s kariérou v armádě. Je to přece boj co vyžaduje nejenom učení se o taktice a strategii ale i schopnost improvizace. V této disciplíně zaskočit nepřítele něčím nečekaným a novým byly mistři své doby Alexandr veliký, César, Napoleon, Kutuzov, Laudón, generál Patton, maršálové Rommel a Žukov, admirál Nimitz a jiní. Tito velitelé svým, z pohledu nepřítele, dopředu nepředvídatelným chováním v boji (chaotickým - předem připravené plány operativně měnili podle vývoje na bojišti) způsobili zmatek v řadách deterministicky útočícího nepřítele a ten zmatek využili k vítězství. Pilot, který musel v boji projevit maximální míru improvizace a dokonale znal stroj, který ovládal, pak mohl zachránit 154 lidí před téměř jistou smrtí.

Krizové řízení v období mimořádné události by mělo být vedeno lidmi, kteří se dokáží orientovat v nastalém chaosu a řešení situace přizpůsobit změnám podmínek. Z vlastní zkušenosti vím, že tomu

tak nemusí být. V roce 2005 jsem pomáhal hasičům při orientaci v terénu v rámci hasebních prací v oblasti Jetřichovic. Směnu pod velením pana Klingera (hodnost ani křestní jméno jsem si nezapamatoval, příjmení se zapomenout nedalo) vystřídal velitel s prokazatelně psychopatickým jednáním. Celou dobu směny volal svým známým, že provádí televizními společnostmi velmi sledovaný hasební zásah v Jetřichovicích. Na moje upozornění, že přes skály se dostal požár do sousedního údolí, mne odbyl slovy, že nejsem hasič tak mne nebude poslouchat. Problém lidí co se díky snaze o úplné administrativní tj. deterministické řízení lidské činnosti dostali na místa, kde neměli co dělat je celosvětový. Znamé jsou případy „zkušených“ pilotů, u kterých až po havárii letadla a jejich smrti se zjistilo, že mají na kontě řadu provinění proti bezpečnosti letu (zavření podvozku na stojance u terminálu, nečekané vypuštění paliva za letu nebo se bavili tím, že s letadlem dělali neočekávané manévry, aby lidi v kabině vyděsili). Klasiku pak představuje ztroskotání lodi Costa Concordia (obr. 17) kdy kapitán s příznačným příjmením Francesco Schettino (někdy příjmení doprovází genetickou informaci předávanou po generace - kolega jeskyňář Chlasták nebo bývalá přítulkyňe Kyprá) mezi prvními opustil loď a cestující nechal svému osudu (to není ojedinělý případ podobného chování kapitánů trajektů). Další z poslední doby je případ psychicky narušeného Andrese Lubitze, který vědomě s letadlem narazil ve Francii do horského masivu (obr. 18). Kdo těmto lidem vystavil pilotní nebo kapitánskou licenci, by se měli zodpovídat před soudem. K obdobným soudům ale nedojde, protože lidé co jim vydali licence nebo naopak jim licenci neodebrali (často bývají do úřadů jmenováni ne pro svou odbornost ale pro loajalitu k nadřízeným) se přece řídili deterministickými zákony společnosti.

Obr. 17: Havárie lodi Costa Concordia



Obr. 18: Konec letu Germanwings 9525



Jak by asi někdo mohl namítat, tak nelobuji za totální zmatek nebo anarchii. Jen je podle mého názoru nutné, aby lidi, kteří se mohou dostat do krizových situací nebo jsou odpovědné za krizové řízení, byli v reálném prostředí testováni v řešení krizových situací, do kterých se mohou dostat. Ne tak, že dopředu budou vědět co, kdy a jak se bude cvičit, ale aby do posledního okamžiku nevěděli plán cvičení. Je to obdoba cvičení pilotů na simulátorech zvládat situace, které mohou při letu nastat. Zase uvedu příklad z TVIP 2018 kde byl uveden případ výbuchu v chemičce v Litvínově z roku 2015. Přednášející prezentoval informaci o obžalobě pracovníků velínu chemičky, že ve zmatku po provozní havárii se chovali jinak než by se chtěl chovat vyšetřovatel a soudce ve své kanceláři. Tím podle soudce způsobili větší škodu. Podle mého názoru, pokud by vedení chemičky v Litvínově jednou za čtvrt roku nechalo vybuchnout část fabriky tak by za pár let byly zásahy obsluhy ve velínu naprosto bezchybné.

V tomto případě se projevuje současná zvýšená přítomnost jedinců s psychopatologickými prvky v chování ve vedení státního systému a nejenom našeho (opět osobní zkušenost). Normální vnímavý odborník dokáže citlivě rozeznávat důležité změny v okolí a díky své vybudované intuici (která se vytváří na základě znalostí a zkušeností) na ně i rychle a vhodně reagovat. Jedná se princip učení v neuronové síti, za které je z velké části odpovědné mozkové centrum Amygdala. Někteří lidé však mají Amygdalu ne plně funkční nebo poškozenou (drogy) a tak je jejich schopnost reakce nervové soustavy fyziologicky omezená. Nefunkční Amygdala je charakteristická pro jedince s psychopatologickým chováním.

Psychopat v pojetí základů chaosu je člověk, který vzhledem k poruše vyšších řídicích funkcí mozku je schopen jen deterministického chápání světa a tím i řešení situací (používá nacvičené stereotypy). Psychopat na podkladě pro něj známých předpokladů je schopen si naplánovat nějakou činnost, často až do sebemenších detailů, a pak se těmito plány řídit aniž by připustil sebemenší odchylku od svého postupu. Pokud psychopatovi plány vzhledem k měnícím se okolním podmínkám nevycházejí, pak jejich dodržování vyžaduje mnohdy nátlakem nebo násilím. To oceňují hlavně psychopatovi nadřízení, za které vlastně dělá „špinavou práci“. Tento ve státní sféře oblíbený deterministický přístup mu umožňuje se dostat až do vysokých vrstev státního systému a do politiky. Na jedné konferenci ve Státním zdravotním ústavu (cca 2010) zazněl názor, že „je nezbytné se důsledně držet zákonů lidských“. Po mém dotazu „a co mám dělat, když někdy zákony lidské odporují zákonům přírodním“, mi bylo vysvětleno, že „je mojí povinností je i tak dodržovat zákony lidské“. Prostě psychopat. U psychopatů je charakteristické, že když vlivem měnících se okolních podmínek dochází ke změnám ve vstupech jejich plánů nebo se mění prostředí, ve kterém si definovali svoje stereotypy, tak nejsou schopni se těmto změnám přizpůsobit (lze použít k jejich odhalení a znemožnění). To je podstata konce mnohých totalitních režimů a vládců (Hitler, Stalinismus, Ceausescu, Husajn). Když se diktátorům s psychopatologickými rysy nedaří jejich plány prosadit tak také vinu svalují na ostatní (Němci mne zradili - Hitler; já za nic nemůžu, já to myslel dobře, za to může Kalousek -). Nechápu, že svět není deterministický, jak by si přáli, ale už od základu chaotický.

Použitá literatura:

Internetové stránky (obrázky).

Stewart, I.: Hraje Bůh kostky? Nová matematika chaosu. Argo. Praha. 2009