



APPLICATION OF HYDRAULICALLY FILLED BAGS IN FLOOD PROTECTION

Pavel VLASÁK, Zdeněk CHÁRA, Karel VATOLÍK, Jaroslav PAŘENICA*

***Summary:** The paper deals with introducing and application of equipment and technology being suitable for prompt and operative building of new and/or improving the contemporary levees and elimination of local impact of water erosion or scour during flood events. The proposed solution is based on utilisation of special large-voluminous bags, filled hydraulically by a mixture of water and environmentally acceptable loose material.*

1. Úvod

Povodně, které přicházejí po zimním období při tání sněhu i ve vegetačním období jako důsledek příválových nebo dlouhotrvajících dešťů, představují stálou hrozbu pro území, sídliště, infrastrukturu i krajinu. Predikce povodní není dosud dostatečně včasná, dokonalá ochrana celého území proti např. stoleté vodě není vzhledem k nákladnosti i nutným zásahům do krajiny často ekonomicky ani společensky únosná. Technická a technologická opatření dosud používaná pro řešení havarijních situací neodpovídají současným požadavkům ani úrovni techniky a jsou obvykle zaměřena pouze na ochranu vybraných území a staveb s využitím tradičních postupů velmi náročných na nasazení lidské síly, většinou s malou účinností a nízkým zapojením moderních technických prostředků. Obvykle nejsou založeny na komplexních opatřeních, která by byla technicky a v nezbytných velice krátkých časových limitech schopná chránit většinu krajiny a lidských sídlišť před následky extrémních vodních stavů. Povodně tak ve většině postižených oblastí vykonají svoje dílo zkázy, které znamená pro obyvatele, průmysl, zemědělství, lesní hospodářství i kulturu často nezměrné materiální a nenahraditelné kulturní ztráty. Všeobecně je možno konstatovat, že následná opatření pro odstranění škod způsobených povodní jsou obvykle podstatně dražší než by byla opatření provedená před, nebo v průběhu povodně.

Princip udržitelného rozvoje vodních zdrojů a péče o ochranu jejich přírodní obnovy vyžaduje maximální redukci účinku extrémních hydrologických situací. Existuje rozpor mezi dvěma přístupy, vodohospodářským využitím vodních toků a řízením vodních stavů, jehož úkolem je eliminovat nepříznivé účinky budováním konstrukcí, jako např. úprav toků, ochranných hrází, přehrad a nádrží. S tím spojená destrukce přirozených prvků povodí, rybníků, mokřadů, neregulovaných vodních toků ap. přináší zhoršení životního prostředí, samočisticí schopnosti toků i kvality vody, morfologické

* Ing. Pavel Vlasák, CSc., Ing. Zdeněk Chára, CSc.- Institute of Hydrodynamics ASCR, Pod Paťankou 5, 166 12 Praha 6, Czech Republic, e-mail: ulasak@ih.cas.cz, chara@ih.cas.cz

Ing. Karel Vatošík, Ing. Jaroslav Pařenica - KOEXPRO OSTRAVA a.s., U cementárny 16, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Czech Republic, e-mail: koexpro.ostrava@telecom.cz

situace a často přispívá k devastaci ekosystémů. Tento přístup vyžaduje značné investice a obvykle ignoruje přírodní hodnoty. Konflikt mezi vodohospodářským využitím povodí a pouhou kontrolou vodních stavů se stále více stává dominantním rozporem pro většinu techniků, ale i politiků a veřejnosti, zejména v období po extrémních povodních.

V červenci 1997 byla východní a severovýchodní část České republiky postižena největšími povodněmi v průběhu dvacátého století. Tato situace se od té doby několikrát opakovala, i když pro výrazně menší územní celky a v poněkud menším měřítku. Příčinou byly srážky extrémní co do vydatnosti i rozsahu zasaženého území. V průběhu pěti dní spadlo na Moravě a v severovýchodních Čechách více než 500 mm srážek (tj. okolo poloviny průměrného ročního srážkového úhrnu). Hladiny řek velice rychle stouply, při kulminaci přesáhly úroveň stoleté vody a způsobily obrovské škody v povodí Moravy, Odry a horního Labe. Byla zaplavena plocha 1 248 km², okolo 170 m³ vody se akumulovalo v zatopených územích a okolo 730 tisíc tun sedimentů bylo přemístěno vodními toky v průběhu této povodně. Postiženo bylo 538 obcí a měst ve 34 okresech, voda poškodila a zničila 3 500 studní, 40 čistících stanic. V průběhu povodní zahynulo 50 lidí a dalších 10 zemřelo na jejich přímé následky. Přímé škody byly odhadnuty na 62,6 miliard Kč (tj. cca 1,7 miliard \$). K odstranění následků povodní byla vláda nucena přijmout zvláštní program, jen škody na říčních korytech a vodohospodářských stavbách, vodovodní a kanalizační sítě a čistících stanicích přesáhly 6 miliard Kč.

Jak vyplývá z několika hydrologických studií, výskyt extrémních vodních stavů je možno v budoucnu očekávat s větší pravděpodobností a častěji v souvislosti se změnami klimatu, vegetačního krytu i industrializací a využíváním krajiny (Buchtele et al, 1999, 2000). Je proto nutné se na podobné události předem připravit, a to nejen zlepšenou údržbou vodních toků a povodí, budováním ochranných vodních děl a lepším využíváním stávajících, ale zejména zlepšením vodohospodářského řízení povodí, vybudováním varovného a záchranného systému včetně operativních opatření, umožňujících rychlý a efektivní zásah v ohrožených oblastech, kde aktuální vodní stav přesáhl plánovanou úroveň protipovodňové ochrany.

Mezi jinými řešeními, technická opatření umožňující ochranu hrází proti destrukci či jejich přechodné a rychlé zvýšení, vybudování chybějících úseků a opravu poškozených, zabránění sesuvům podmačených hrází či svahů, musí být připravována v předstihu. Článek se zabývá návrhem nové technologie, která využívá hydraulickou potrubní dopravu ve spojení s velkoobjemovými vaky jako efektivní metody protipovodňové ochrany. Tento způsob může být považován za modernější a účinnější analogii dosud užívaných technik stavby pohyblivých hrází, na př. pomocí pytlů plněných pískem a přenosných hradicích zařízení, které jsou obvykle používány zejména v zastavěných oblastech.

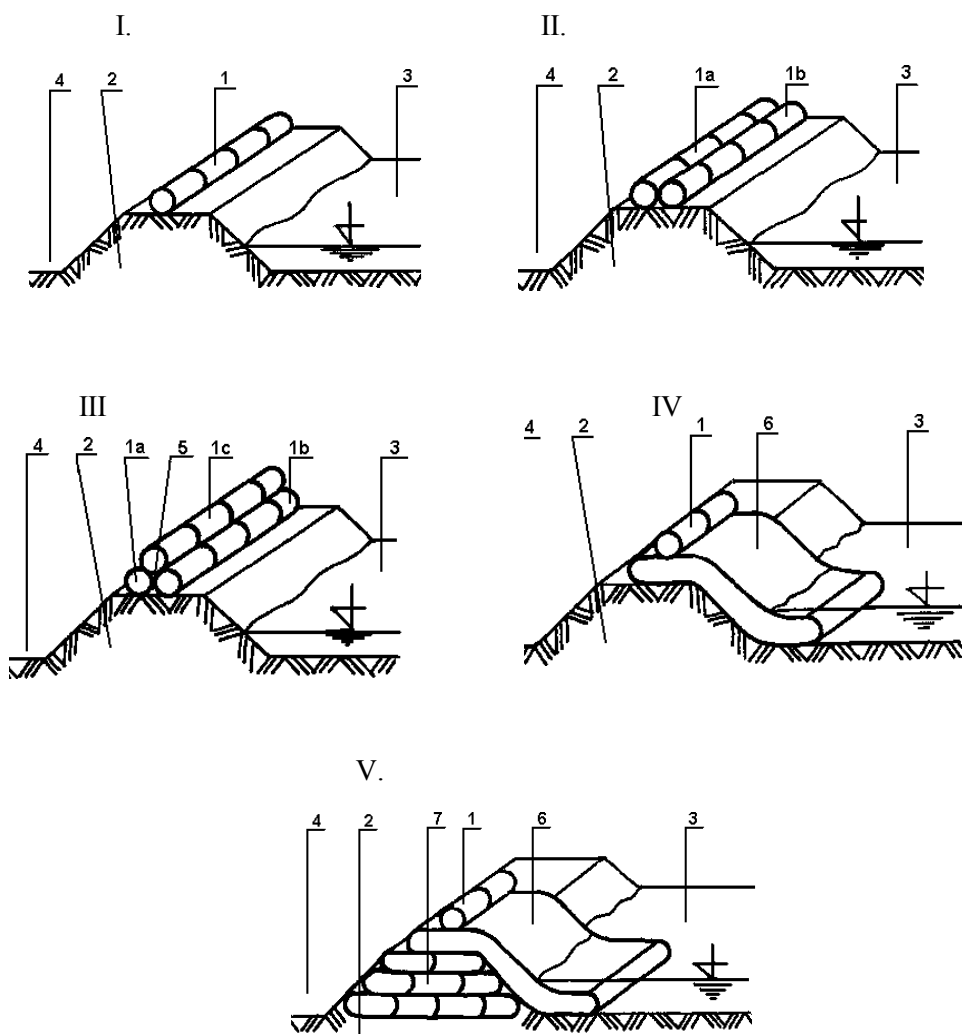
2. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE

Technologie ochrany je založena na použití velkoobjemových vaků různých typů (válcovité jednoduché i kombinované, matrace, stavebnicovité vaky), vyrobených ze syntetických tkanin, popř. plastických folií vyztužených skleněnými či jinými vlákny k získání potřebné pevnosti v tahu, tlaku i průrazu. Vaky, jejichž obaly jsou velmi lehké vzhledem ke jejich objemu, jsou v prázdném stavu snadno rozvinuty na místě použití a zde s využitím hydraulické potrubní dopravy plněny zahuštěnými vodními suspenzemi o hustotě od 1500 do 2000 kg/m³. Naplněné vaky mají dostatečnou stabilitu i velmi dobrou přilnavost k podloží, takže jsou schopné vytvářet přechodné i trvalé překážky proti pronikání vody z vodních toků. Navržená technologie nabízí možnost budování či zvyšování hrází, sanaci porušených hrází pomocí ochranných matrací, které mohou být použity i jako ochranné prvky proti sesuvům.

Základním prvkem jsou **válcové vaky** různých velikostí, jejich průměry jsou od 0,30 do 1,00 m a jejich délka může dosahovat až 100 m (v závislosti na jejich průměru). Všechny typy vaků jsou opatřeny na vstupní straně plnicím rukávem, na druhé straně odvzdušňovacím rukávem. Válcové vaky

jsou určeny pro rychlé zvyšování hrází nebo vytvoření překážky pronikající vodě. Mohou být použity i pro ochranu budov či prostorů v zastavěných oblastech. Kombinací a spojením válcovitých vaků obdržíme **vak ledvina** (nazváno podle tvaru příčného řezu), který se vyznačuje větší stabilitou v terénu a umožňuje případné zvýšení hráže položením dalšího válcovitého vaku do prohlubně mezi oběma vaky (tak zv. trojče).

Dalším typem vaků je vak nazvaný **matrace**, který je v podstatě soustavou pevně spojených, na sebe vzájemně navazujících válcovitých (hadicových) vaků o malém průměru. Matrace se používají k těsnění průsaku vody hrází, v tom případě se klade na návodní straně hráže, je k hrázi přitlačován jak vlastní vahou tak i hydrostatickým tlakem, případně může být zatížen jiným typem vaku nebo lomovým kamenem či jinou zátěží. Je vyráběn v rozměrech 3x5 až 3x10 m, výška plnění od 0,15 až do 0,25 m dle potřeby, a je kombinován s válcovitým vakem, který slouží jako zatěžovací a vodící prvek, případně s válcem ledvina, který po naplnění stabilizuje matraci na koruně hráže. Vak se položí na korunu hráže, hydrosměsí se plní nejprve ledvinový a válcový vak, který se při tom postupně působením vlastní váhy posouvá směrem k hladině a dále pod vodu a při tom rozvíjí vlastní matraci. Po úplném rozvinutí matrace se hydrosměsí doplní soustava hadicových vaků, které tvoří vlastní matraci. Vaky typu matrace mohou být použity také jako zátěžové prvky proti sesuvu půdy



Obr. 1. Schéma použití velkoobjemových vaků (1, 1c - válcovitý vak, 1a, 1b – vak ledvina, 2 – hráz, 3 – voda, 4 – okolní území, 5 – výplňový materiál, 6 – matrace, 7 – velkoobjemový vak)

a podmáčených svahů či hrází. V tomto případě se kladou na patu sesuvu, vyrábějí se větších tloušťkách (až 0,50 m), odpadá potřeba dvou doplňujících válcových vaků. Pro zvýšení zátěže paty sesuvu je možno matraci doplnit vakem ledvina, samostatnými válcovými či stavebnicovými vaky nebo jinou zátěží. Použití jednotlivých typů vaků je schematicky znázorněno na Obr. 1.

K přehrazení hlubších údolí či k opravě protržených hrází, vyplňování výmolů a podemletých břehů, k ochraně mostních pilířů ap., zejména v místech s nedostatkem lomového kamene, jsou určeny **stavebnicové vaky** ve tvaru hranolu nebo krychle o rozměrech 1x1x2 až 1x1x3 m. Tyto vaky lze podle potřeby plnit přímo na místě uložení nebo v blízkosti tohoto místa (hydraulicky i mechanicky) a na místo určení je spouštět pomocí jeřábu (zejména pro případ sanace protržené hráze nebo např. utěsnění silničních či drážních mostků a propustků). Vaky jsou opatřeny závěsy, které umožňují jednak manipulaci pomocí jeřábu (rypadla), jednak vzájemné spojení vaků k dosažení jejich větší odolnosti proti dynamickým účinkům vodního proudu.

Vaky jsou plněny z hlediska životního prostředí inertním nebo neškodným materiálem, jako jsou silně koncentrované vodní suspenze s obsahem přírodního materiálu (písky, zeminy) nebo inertních odpadů (popílek a p.), dále vylehčené a plněné betonové směsi a aditivované popílkové hydrosměsi s řízeným procesem tuhnutím (řádově v minutách až hodinách). Vaky, respektive jejich soustavy umožní velmi rychle vybudovat nepropustné hráze odolné proti účinkům povodňové vlny i unášených předmětů. Přitom vzhledem k vysokému stupni mechanizace při jejich kladení a plnění nevyžadují velké množství pracovních sil jako např. ruční kladení pytlů se zeminou a navržený postup může být snadno uplatněn i ve stížených klimatických i geografických podmínkách. Navržené technické prostředky a technologie jejich použití jsou předmětem přihlášky vynálezu (PCT/CZ00/00086), obdobné vaky byly dosud používány k dopravě a skladování materiálu v dolech, pro budování protipožárních valů a ochraně proti explozím v uhelných dolech. Jejich použití a odolnost je tedy vyzkoušena.

Podle místní potřeby zvolené typy obalů se v případě potřeby v dostatečně krátkém časovém období naplní plnicí směsí na bázi zeminy, písků, kameniva, popílků, místně dostupných ekologicky nezávadných odpadových materiálů (např. otěry z kamenolomů, hlušina, vytěžené zeminy, inertní flotační odpady), stabilizátu (popílků aktivované vápnem a cementem nebo sádrovcem, které po zatuhnutí vytvářejí hmotu podobnou betonu) nebo plněných betonových směsí. Potřebný materiál se dováží nebo těží přímo na místě určení, hydrosměs se vyrábí v míchacích zařízeních, pomocí mobilních čerpadel se potrubím či hadicemi dopravuje a plní do vaků, které vytváří požadované ochranné valy různých tvarů velikostí a délek. Rychlost výstavby ochranných hrází je funkcí průměru vaku a výkonu čerpadla. Následující Tabulka 1 ukazuje rychlost pokládání a plnění vaků pro předpokládaný průtok dodávaný čerpadlem $Q = 20 \text{ kg/m}^3$. Je zřejmé, že zvýšením výkonu čerpadla či zmnožením čerpacího zařízení se dosáhne i zvýšení rychlosti výstavby.

Tabulka 1. Rychlost výstavby ochranných hrází v závislosti na průměru vaku.

Průměr válce D [m]	Průtok čerpadla Q [m ³ /hour]	Rychlost budování hráze V_{hr} [m/h]
0.5	20	1.7 x 60 = 102
0.75	20	0.74 x 60 = 44.4
1.0	20	0.42 x 60 = 25.2

Pro bezpečný, rychlý a efektivní průběh plnicího procesu je nutno znát s dostatečnou přesností tokové vlastnosti jednotlivých použitých hydrosměsí, aby bylo možno zvolit vhodnou koncentraci hydrosměsi a odpovídající výkon čerpadla vzhledem k délce a průměru přírodního potrubí. Z hlediska

budování ochranných hrází a prvků je vhodné používat co nejvyšší koncentrace a hustoty plnicích hydrosměsí, pro potrubní dopravu jsou optimální hodnoty objemové koncentrace kolem 40 %.

Důležitým parametrem použitých plnicích materiálů je i jejich hustota a zrnitostní složení (Hisamitsu et al, 1978, Vlasák and Chára, 2000). Podle použitých typů čerpadel je možno stanovit i maximální velikost dopravovaného materiálu, přičemž vřetenová čerpadla vyžadují relativně jemnozrnný materiál, odstředivá čerpadla mohou dopravovat i velmi drsný materiál, ale nedosahují potřebných koncentrací a tlaků. Pro dopravu hustých hydrosměsí jsou velmi výhodná pístová čerpadla, často používaná např. ve stavebnictví pro dopravu pumpovaného betonu. V případě kratších dopravních vzdáleností je možno využít vyšších koncentrací, v případě velmi členitého a těžko přístupného terénu, kde budou vyžadované dopravní vzdálenosti 500 až 1000 m, je nutno použít materiál s nižší zdánlivou viskozitou, případně uvažovat o využití řidších hydrosměsí a následné sedimentace plnicího materiálu přímo ve vacích (vzhledem k řádově rozdílné velikosti průřezů dopravního potrubí a vaků je i řádový rozdíl v unášecí rychlosti v potrubí a ve vaku a tím je předurčena možnost separace fází ve vaku) a odcezení přebytečné vody.

Plnicí směsi ve vacích buď ztuhnou nebo se uchovají po dobu několika dnů v polotuhém stavu (zachovají si parkovatelnost pro následné odčerpání), popř. podle použitého plnicího materiálu mohou být po odstranění vaků ponechány v terénu, kde splynou s původní zeminou. V případě, že vytvořená konstrukce má zůstat v krajině trvale, vytvoří přirozený val, který se stane jádrem budoucí hráze, je možno jej dotvarovat zeminou, nechat zarůst rostlinstvem a splynout s danou lokalitou.

Navržená technologie byla ověřena jednak na zkušební (areál firmy KOEXPRO OSTRASVA a.s., areál Dolu Odra) pro různé typy vaků i plnicích hydrosměsí na bázi převážně popílkových a betonových směsí. Jednotlivé typy hydrosměsí byly ověřeny na experimentálních linkách v Ústavu pro hydrodynamiku AVČR v Praze (popílkové a sádrocopolíkové suspenze, hydrosměsi s otěrem z lomů, jílové suspenze) a firmy K. Vatošík, Frenštát pod Radhoštěm (Popílkové hydrosměsi, stabilizáty a jemné kamenivo). Koncem roku 2000 byly položeny i dvě ochranné hráze přímo v terénu, v obou případech bylo použito vaků vyrobených firmou Lanex a.s. Boletice.

Na řece Stonávce v lokalitě Těrlicko byla prověřena možnost plnění vaků na větší vzdálenosti ve špatně dostupném terénu. Byla položena hráz v celkové délce 90 m, složená z vaků typu trojče (tj. vak ledvina doplněný o válcový vak, položený navrch), průměr použitých válců byl 0,34 m, délka vaků do 25 m. Pro plnění vaků byla zvolena směs elektrárenského popílku a vody s přídavkem cementu, výroba byla zajištěna v betonárce TBG Severní Morava a směs byla dopravena na místo použití automixy. Směs byla čerpána čerpadlem KOEXPRO 125 v požárních hadicích zavěšených na laně přes řeku Stonávku do místa uložení vaků.

Na základě dohody s Městským úřadem Letohrad a Sdružením měst a obcí v povodí Tiché a Divoké Orlice byla vybudována ochranná hráz proti každoročnímu zaplavování jedné obytné části



Obr. 2. Příklad praktického použití velkoobjemových vaků a matrací

obce v lokalitě Kunčice řekou Tichá Orlice. Opět byly použity vaky typu trojče, průměr válců 0,34 m, celková délka hráze 48 m. Pro plnění vaků byla zvolena tuhnoucí hydrosměs složená z cementu, otěrového prachu a kameniva (velikost zrna do 4 mm) z lomu Mistrovice, výrobu zajišťovala betonárna VAKSTAV Jablonné. Směs byla dopravena automixy k místu plnění a do vaků čerpána pístovým čerpadlem Baumes – MDP GOS firmy ZAPA, nejprve ocelovým potrubím a dále požárními hadicemi velikosti „B“. Zkouška prokázala možnost plnění vaků hydrosměsí o vysoké hustotě a pod vyšším tlakem.

Funkční zkoušky prokázaly možnost použití navržené technologie i ve špatně přístupných lokalitách a využití místních odpadových materiálů. Příklad využití v reálných podmínkách je ilustrován na Obr. 2.

3. ZÁVĚR

Technická úroveň i účinnost dosud obvykle používaných havarijních opatření pro zvyšování a budování hrází (pytle s pískem a kameny, ručně nebo strojně vytvářené násypy bez zpevňovacích prvků apod.) je ve srovnání s navrhovaným řešením nižší. I takové státy jako Nizozemsko, kde je vybudován sofistikovaný systém ochrany před účinkem zvýšených stavů mořské hladiny v průběhu bouří, nedokáže dosud účinně a beze zbytku ochránit vnitrozemské území podél velkých řek (povodně na Rýnu a Maase v letech 1993, 1995).

V článku jsou popsány principy a použití nové technologie pro ochranu území a sídlišť proti účinkům extrémních vodních stavů. Navržené řešení je založeno na použití speciálních velkoobjemových vaků, hydraulicky plněných silně zahuštěnou hydrosměsí z místně dostupných a ekologicky příznivých sypkých materiálů. Navržená technologie může být použita k lepší ochraně vodních, občanských i dopravních staveb proti účinkům povodní, pro rychlé a efektivní uzavírání protřazených hrází, zvyšování stávajících hrází nebo budování nových, ochrana hrází proti průsaku vody, vodní erozi a sesuvům. Navržená metoda může být použita i pro uzavírání a těsnění přístupů do podzemních prostor v dolech.

Technologické zařízení se skládá z obecně užívaných čerpadel pro husté směsi, míchadel, potrubí, ventilů atp., které jsou běžně dostupné. To umožňuje v případě potřeby rychlé sestavení potřebné technologie z místních zdrojů a její efektivní použití. Bylo prokázáno, že úletové popílky, místně dostupné zeminy, písky nebo ekologicky nezávadné pevné odpady mohou být úspěšně použity pro plnění velkoobjemových vaků. Tyto výsledky doporučují navrženou technologii k zařazení do integrovaných systémů protipovodňové ochrany v celostátním rozsahu.

4. LITERATURA

- [1] Buchtele, J., Buchtelova, M., Fortova, M., Dubrovsky, M. (1999a) Runoff changes in Czech river basins – the output of rainfall-runoff simulations using different climate change scenarios, J. Hydrology and Hydromechanics, Vol. 47, No. 3, pp. 180-194.
- [2] Buchtele, J., Ditttr, F., Elias, V. (1999b) Practical experience gained from evaluation of the July 1997 floods in the Czech Republic, Proc. 34th MAFF Conf. of River and Coastal Engineersw, Keele (UK), June 30 – July 2, 1999, pp. 3.5.1 – 3.5.13
- [3] Buchtele, J., Buchtelova, M., Herrmann A. (2000) Increases of large floods in central Europe due to change in vegetation cover : results of rainfall-runoff simulation, Proc. European Flood Conference, Potsdam (Germany), November 2000 (in press)
- [4] Hisamitsu, N., Shoji, Y., Kosugi, S. (1978) Effect of added fine particles on flow properties of settling slurries, Proc. Hydrotransport 5, D6-29-50.

- [5] Vlasák, P. and Chára, Z. (2000) Laminar and turbulent flow of dense kaolin and ash hydromixtures, Proc. 3rd Israel Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids. The Dead Sea (Israel), May 28-June 1, 2000, pp.12.14-12.19

Práce vznikla za podpory projektu č. *S 2060007* “Programu cíleného výzkumu” AV ČR, projektu č. *TC6-091* programu “TECHNOS” a grantu č. *A 2060701* Grantové Agentury