SYNERGIE DAT DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ A IN-SITU DAT PRO SYSTÉM MONITORINGU A PŘEDPOVĚDI VZNIKU POVODŇOVÉHO JEVU

Lukáš Brodský[1], Radka Kodešová[2], Kateřina Spazierová[1]

Abstrakt

Předkládaná studie je ukázkou možnosti využití dat dálkového průzkumu Země (DPZ) v kombinaci s in-situ daty meteorologických stanic pro účely vybudování systému monitoringu stavu krajiny a předpověď vzniku povodňového jevu řešeného v rámci projektu FLOREO programu PECS ESA. Vývoj systému spojujícího oba zdroje dat je zaměřen na podporu stávajících monitorovacích činností, zejména tání sněhu a povrchového odtoku vody v krajině. Systém tvoří dvě hlavní částí, první je zaměřena na monitoring sněhové pokrývky a tání sněhu z dat DPZ a druhá na modelování a monitorování povrchového odtoku vody prostřednictvím družicových dat a in-situ dat.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, povodně, FLOREO, tání sněhu, povrchový odtok

1. Úvod

Současné předpovědní a monitorovací systémy povodňových jevů jsou většinou založeny na meteorologických měřeních ze stanic a bodových měřeních průtoku vody. Tyto systémy však vykazují jistou míru neurčitosti, způsobenou předpovědí množství srážek a nedostatečností vstupních dat využívaných v modelech. Na území České republiky o rozloze 78 000 km^2 se nachází okolo 300 meteorologických stanic. Na druhou stranu data dálkového průzkumu Země (DPZ) přináší detailní informaci z celého našeho území. Například stejná oblast monitorovaná satelitními snímky Terra MODIS sestává z 1 248 000 obrazových bodů obsahujících spektrální informaci povrchu Země. Cílem předkládaného systému FLOREO je podpora stávajících monitorovacích činností prostřednictvím relevantních dat DPZ na území České republiky, zejména tání sněhu a povrchového odtoku vody, jež významně přispívají ke vzniku povodní. Uživatelem systému je Český hydrometeorologický ústav, jakožto přední národní organizace pověřená monitoringem a prevencí hrozby povodní.

2. Koncept monitorovacího systému

Systém FLOREO je založen na synergii dat dálkového průzkumu Země a in-situ dat. Implementovaný hydrologický proces je schematizován v následujícím Obr. 1. Skládá se z hlavních krajinných procesů sněhu a oběhu vody sledovaných jak z denních dat DPZ, tak také meteorologických dat z 80 stanic.

Využitý koncept je založen na denních datech DPZ, GIS produktech (Corine Land Cover, FTS Soil Sealing, SRTM DEM atd.), denních in-situ datech (z meteorologických stanic), existujících zpracovatelských nástrojích dat DPZ, geostatistických procedůrách a řadě hydrologických modelů. Realizace celého systému také vyžaduje značné informační technologie potřebné pro jeho provozování, jako např. vysoce výkonný výpočetní systém, infrastrukturu prostorových dat a internetové služby (WS, WMS atd.).

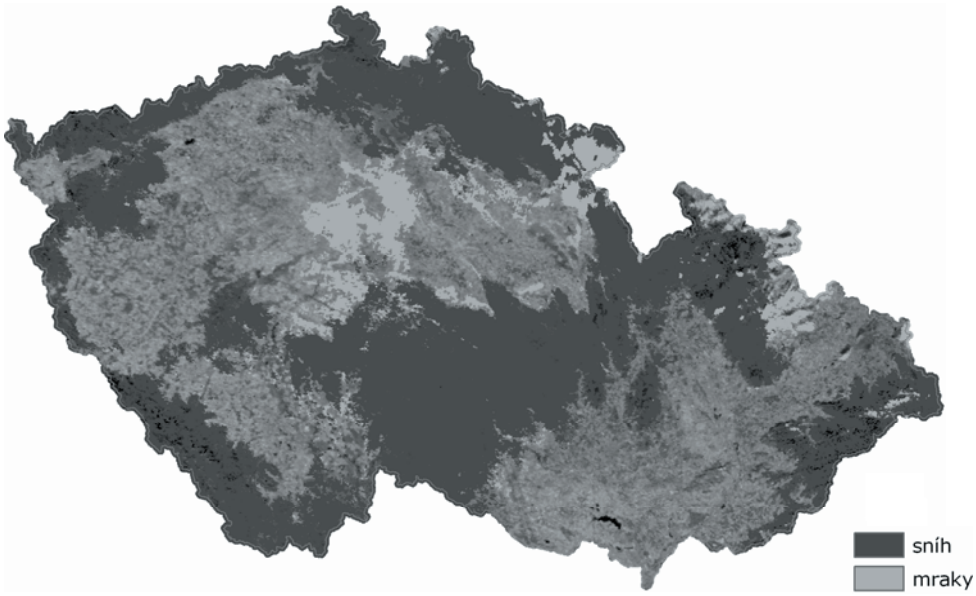


Obr. 1: Koncept oběhu vody v projektu FLOREO

2.1 Monitoring sněhové pokrývky a tání sněhu

Existuje řada družicových systémů které je možné využít pro monitorování sněhové pokrývky. Systém monitorování sněhové pokrývky ve FLOREO představuje hybridní model založený na kombinaci snímků Terra MODIS (Obr. 2), Envisat ASAR a in-situ dat. Postup zpracování zahrnuje klasifikační nástroje, degree day factor model a geostatistické soubory. Výběr družicových systémů MODIS a ASAR byl založen na definici uživatelských požadavků: vysoké časové rozlišení, střední až vysoké prostorové rozlišení a a široký záběr pořizovaných scén, tady získání informací pro celé území České republiky. Známé družice Meteosat a NOAA splňují podmínku časového rozlišení, ovšem prostorové rozlišení 3 a 1 km je nedostatečné. Na druhé straně existuje řada družicových systémů vysokého prostorového rozlišení jako je SPOT nebo IRS, které mají ovšem nižší periodu snímání a scény zpravidla nepokrývají celé území. Vhodnými družicemi splňující zadané podmínky jsou Terra MODIS a Envisat MERIS. Systém je též plně připraven na novou řadu družic Sentuinel -1 a 2.

Mapy sněhové pokrývky jsou primárně získávány z optických dat (MODIS). V případě dlouhotrvajícího období oblačné oblohy jsou zpracovávána [11] radarová data Envisat ASAR WSM [5]. Informace z území celé České republiky jsou poskytovány buď denně nebo jednou týdně v prostorovém rozlišení 250 m.



Obr. 2: Příklad mapy sněhové pokrývky z Terra MODIS

V následujícím kroku je vypočítávána vodní hodnota sněhu. V současné době je tato hodnota stanovována pouze interpolací in-situ dat (kriging metoda). Testována je také metoda regresního krigingu s environmentální proměnou (výškou), nicméně ta znamená zlepšení pouze ve specifických sněhových podmínkách.

Tání sněhové pokrývky je založeno na výpočtu „degree-day factor" modelu dle [21]. Indikátory tání sněhu, tedy míra akumulace a tání, jsou poskytovány denně ve formě mapy (Obr. 3).



Obr. 3: Příklad indikátoru tání sněhu založeném na „degree-day factor" modelu

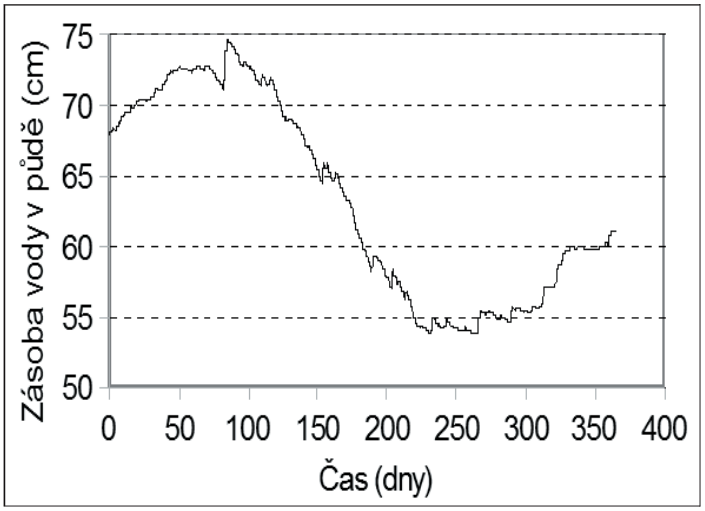
2.2 Monitoring povrchového odtoku vody

Povrchový odtok vody je každý den vypočítáván pomocí metody SCS CN křivek [18]. Obecně platí, že povrchový odtok (pravděpodobnost výskytu povrchového odtoku a jeho velikost) se zvyšuje s rostoucí hodnotou CN. Hodnota CN závisí na typu tzv. „land use", hydrologické půdní skupině a způsobu obhospodařování zemědělských pozemků. Hodnoty CN souvisí také se svažitostí. Se zvyšujícím se sklonem se zvyšuje jejich hodnota. Hodnoty CN mohou být rovněž upraveny v závislosti na aktuálního půdní vlhkosti v půdním profilu. S rostoucí půdní vlhkostí roste hodnota CN. Variabilita modifikovaných hodnot CN roste s klesající průměrnou hodnotou CN (která je charakterizována pro danou lokalitu). Hodnoty CN jsou v naší aplikaci modifikovány podobně jako v [7].

Pro výpočet denního režimu vody v půdním profilu je však použit jiný model a to jednorozměrný numerický model HYDRUS [15, 16]. Vstupy do modelu jsou potenciální infiltrace (tání sněhu, denní srážky minus povrchový odtok vypočtený pomocí CN z předchozího dne) a potenciální evapotranspirace (vypočtené na základě klimatických a vegetačních dat – pokryv a LAI) [1]. Půdní vlhkost vypočtená na konci dne je pak využita pro úpravu hodnot CN pro příští den. Model také simuluje doplňkový povrchový odtok.

Obrázek 4 uvádí příklad simulovaného vývoje zásoby vody v půdním profilu pro vybranou půdu. Je zřejmé, že obsah půdní vody je relativně vysoký během zimního a jarního období. Odpovídající upravené hodnoty CN jsou tedy vysoké a povrchový odtok se může během

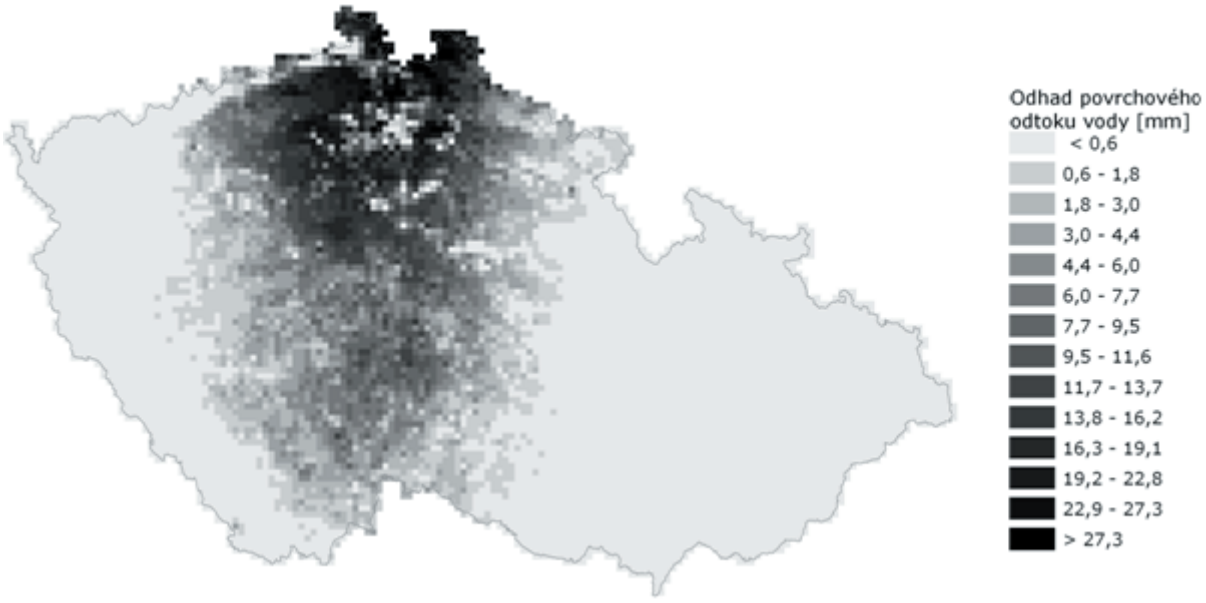
tohoto období objevit častěji než během léta a jara (když je zásoba vody nízká a tudíž jsou vypočteny i nižší hodnoty CN).



Obr. 4: Příklad výsledku simulace z HYDRUS-1D pro Hnědozem modální

Statická prostorová vstupní data pro modely představují například: mapa krajinného pokryvu, digitální model terénu, mapa hustoty zastavěnosti, fyzikální vlastnosti půdy atd. Kromě toho jsou použita také dynamická vstupní data jako jsou prostorové interpolace in-situ dat, vlastnosti zemského povrchu stanovené z dat DPZ nebo vývoj vegetace v zemědělské krajině. Družicová dat Envisat ASAR a Terra MODIS jsou rovněž využívána k monitorování stavu a vývoje krajiny, především z pohledu vývoj vegetace.

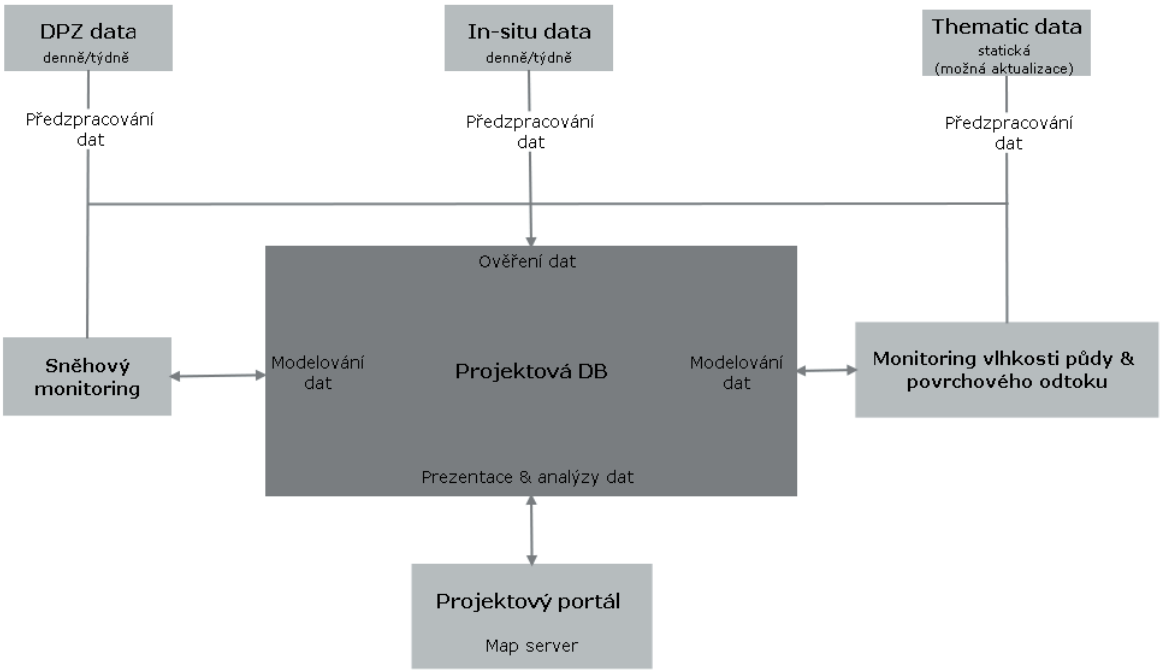
FLOREO koncept je založen na podrobné hydrologické vodní bilanci. Jedním z modelovaných procesů je i intercepce dešťových srážek na vegetaci. Pro tyto účely je využíván index listové plochy (LAI) odvozený ze snímků Terra MODIS.



Obr. 5: Odhad povrchového odtoku vody 7. 8. 2010 v mm

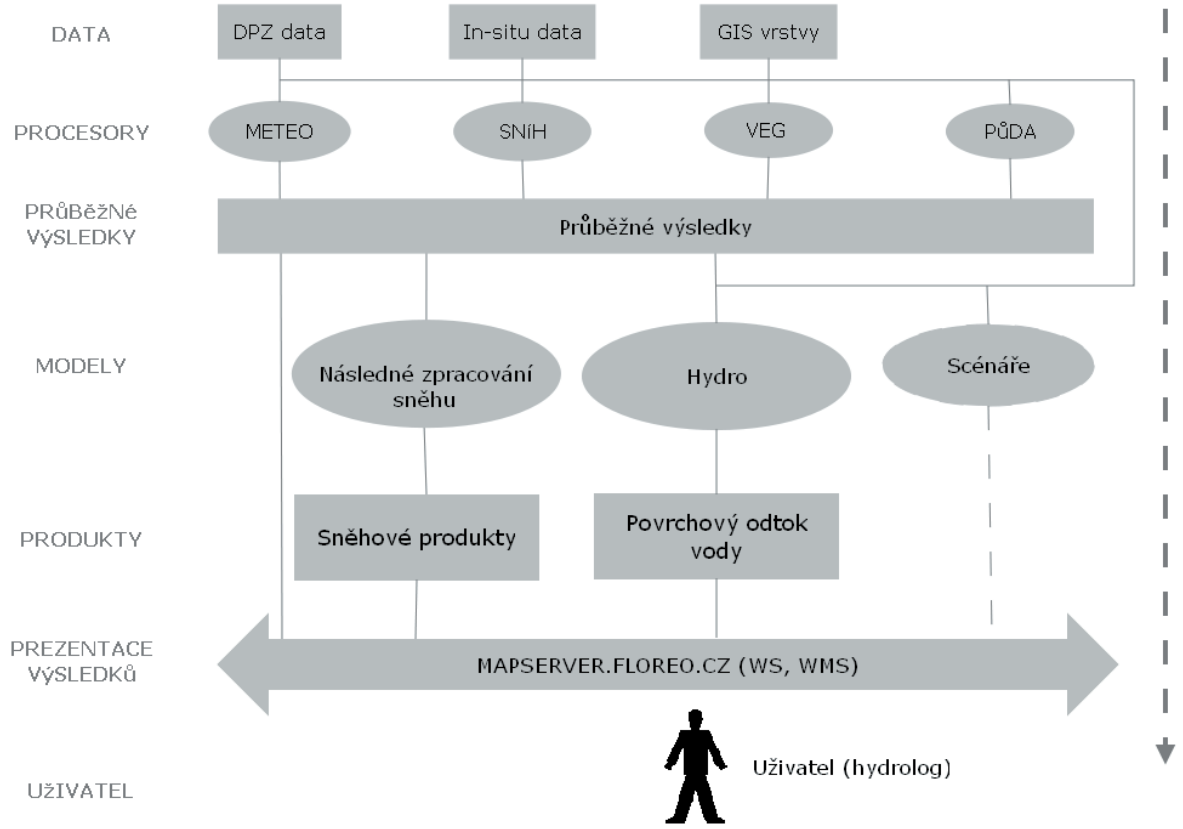
3. Implementace monitorovacího systému

Systém zpracovává data v denním režimu pomocí hydrologických modelů v diskrétních jednotkách gridu 3 km (viz Obr. 5). Celý koncept byl realizován jako nezávislý systém, který automaticky přijímá vstupní data z různých zdrojů, spouští procesory a modely a poskytuje výsledky jako produkty, které jsou ukládány do společné databáze.



Obr. 6: Celkový (obecný) databázový koncept

Kombinaci DPZ a in-situ dat v systém umožňuje technický koncept centrální databáze, do které jsou ukládána předzpracovaná data a průběžné výsledky (Obr. 6). Databáze uchovává prostorovou informaci na úrovni gridu (3 km grid) nebo na úrovni tzv. základních mapovacích jednotek (EMU), což jsou definované homogenní oblasti krajiny. Hydrologické modely načítají vstupní data z centrální databáze a výstupy modelování opět zapisují do této databáze.



Obr. 7: Koncept dat, procesů a produktů v systému

Návrh a provoz celého systému je založen na distribuované infrastruktuře. Celý systémový koncept sestává z různých vstupních dat, která jsou předzpracovávána řadou procesorů, produkujících průběžné výsledky ukládané v databázi (Obr. 7). Tyto výsledky představují vstupní data do kaskády hydrologických modelů a následného zpracování mezivýsledků o sněhu do finálních produktů. Na konec jsou sněhové produkty a produkty povrchového odtoku vody čteny z databáze a vizualizovaný na map serveru (http://mapserver.floreo.cz) nebo prostřednictvím WMS služby. Kromě realizace národního serveru pro Český hydrometeorologický ústav je tato služba dostupná také na ESA SSE (Service Support Environment).

4. Závěr

Implementace celého konceptu do monitorovacího systému demonstruje operační využití DPZ a in-situ dat pro včasné varování před hrozbou vzniku povodňového jevu. Optická data a SAR družicové technologie s vysokou frekvencí pořízení (v nejlepším případě denně) a širokým záběrem jsou důležitým prvkem takovéhoto systému. FLOREO systém je v zásadě připraven pro novou generaci misí ESA GMES Sentinel [6, 17].

Výpočet vodní bilance je realizován jako kaskáda modelů, které vyžadují doplňkové informace jak z DPZ tak také in-situ měření. V této fázi je systém implementován jako analytický nástroj pro sledování aktuálního stavu krajiny (povodí) a předpověď se provádí prostřednictvím analýz scénářů, které mohou představovat informaci o předpovědi počasí nebo informaci založenou na znalostech experta zahrnující i extrémy. Budoucí vývoj se zaměří na odhad kritických srážek. Dalším důležitým úkolem by měla být implementace analýzy neurčitostí.

Poděkování

Studie byla provedena v rámci projektu ESA PECS FLOREO, Demonstration of ESA Environments in support to "Flood Risk Earth Observation monitoring" and ESA Category-1 (ref. 4358) – MERIS.

Literatura

[1] ALLEN, R. G. – PEREIRA, L. S. – RAES, D. – SMITH, M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper. Rome: FAO. 56 pp. ISBN 92-5-104219-5.

[2] ARNOLD, J. G. – WILLIAMS, J. R. – NICKS, A. D. – SAMMONS, N. B., 1990. SWRRB – A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Management, Texas A&M University Press College Station. 255 pp.

[3] ARNOLD, J. G. – WILLIAMS, J. R. – SRINIVASAN, R. – KING, K .W. – GRIGGS, R .H., 1994. SWAT, Soil and Water Assessment Tool, USDA. Agriculture Research Service, Grassland. Soil & Water Research Laboratory, 808 East Blackland Road, Temple, TX 76502.

[4] BARTSCH, A. et al., 2007. Monitoring of Spring Snowmelt with ENVISAT ASAR WS in the Eastern Alps by combination of ascending and descending orbits. In*: Proceedings "ENVISAT Symposium 2007".* Montreux, Switzerland, pp 23–27. ISBN 92-9291-200-1 , ISSN 1609-042X.

[5] DESNOS, Y. et al., 2000. ASAR - Envisat's Advanced Synthetic Aperture Radar, Building on ERS Achievements towards Future Earth Watch Missions, In: *ESA bulletin No. 102*, pp 91–100. ISSN: 0012-9623.

[6] ESA Sentinel - 2 Team, 2010. GMES Sentinel-2 mission requirements document. ESA. 42 pp.

[7] KRYSAROVA, V. – WECHSUNG, F. – ARNOLD, J. – SRINIVASAN, R. – WILLIAMS, J., 2000. SWIM (Soil and Water Integrated Model). User Manual. Version SWIM-8. Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany. ISSN 1436-0179.

[8] MALNES, E. – GUNERIUSSEN, T., 2002. Mapping of snow covered area with RADARSAT in Norway. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Vol.1, pp 683 – 685. ISBN: 0-7803-7536-X.

[9] MALNES, E. – STORVOLD, R., 2004. Near Realtime Snow Covered Area Mapping with ENVISAT ASAR Wideswath in Norwegian Mountaineous Areas, In: *Proceedings: ENVISAT and ERS Symposium*, Salzburg. ISBN 9290928832.

[10] NAGLER, T. – ROTT, H., 2000. Retrieval of wet snow by means of multitemporal SAR data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 38, pp 754–765. ISSN 0196-2892.

[11] ROTT, H. – NAGLER, T., 1995. Monitoring temporal dynamics of snowmelt with ERS-1 SAR, International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS '95. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications, vol. 3, pp 1747–1749. ISBN 0-7803-2567-2.

[12] SALOMONSON, V. V. – APPEL, I., 2003. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. Remote Sensing of Environment, vol. 89, pp 351–360. ISSN 0034-4257.

[13] SIRGUEY, P. – MATHIEU, R. – ARNAUD, Y., 2008. Subpixel monitoring of the seasonal snow cover with MODIS at 250 m spatial resolution in the Southern Alps of New Zealand: Metodology and accuracy assessment. Remote Sensing of Environment, vol. 113, pp 160–181. ISSN 0034-4257.

[14] STORVOLD, R. – MALNES, E. – LAUKNES, I., 2005. Using ENVISAT ASAR wide swath data to retrieve snow covered area in mountainous regions. In: *EARSeL Proceedings 4*, 2/2005. ISSN 1729-3782.

[15] ŠIMŮNEK, J. – ŠEJNA, M. – SAITO, H. – SAKAI, M. – VAN GENUCHTEN, M. TH., 2008a. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably Saturated Media, Version 4.0, HYDRUS Software Series 3. Department of Environmental Sciences, University of California Riverside, Riverside, California, USA. 315 pp.

[16] ŠIMŮNEK, J. – VAN GENUCHTEN, M. TH. – ŠEJNA, M., 2008b. Development and applications of the HYDRUS and STANMOD software packages, and related codes. Vadose Zone Journal, 7(2): 587-600. ISSN 1539-1663.

[17] ŠOBRA, J., 2008. Nová generace družic ESA pro GMES – Sentinel 1-5. Dostupné na <http://www.czechspace.cz/cs/gmes/nova-generace-druzic-esa-vyvijenych-gmes-sentinely-1-5>.

[18] U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1972. National Engineering Handbook Hydrology Section 4, Chapter 4-10.

[19] U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1983. National Engineering Handbook Hydrology Section 4, Chapter 19.

[20] VERMOTE, E. F. – KOTCHENOVA, S. Y. – RAY, J. P., 2008. MODIS Surface Reflectance User's Guide Version 1.2, MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility (http://modis-sr.ltdri.org).

[21] WMO, 1986. Intercomparison of Models of Snowmelt. Operational Hydrology Report No. 23, WMO No. 646 ISBN 9263106460.

Kontakty na autora

1 GISAT, e-mail: lukas.brodsky@gisat.cz, katerina.spazierova@gisat.cz

2 Česká zemědělská univerzita v Praze, e-mail: kodesova@af.czu.cz