

through its computer implementation to getting its application endings in resemblance of new or traditional cartographic models.

The results of application of the population potential model of Slovakia on its settlement system are being evaluated. The distance measurements and settlements' road accessibility on the whole territory of the Slovak Republic are being analysed too.

The most essential contributions are given as follows:

- creation of complex flexible database that could be used in similarly intended regional and human oriented studies a round Slovakia;
- creation of the particular model of Slovak population potential on the ground of dynamic development of its settlement system using GIS technologies, which has increased significantly in its quality and enhanced opportunities for its further possible modifications.

Experience and skills thus gained in the course of work being characterised in brief is given as:

- cartographic modelling techniques in GIS environment could find their successful uses in studies, modelling and forecasting spatial, time and functional geographic phenomena;
- GIS modules due to their flexibility and user friendly nature are extremely effective tools for human and regional geographic research and practice;
- the main obstacle for extensive practical use of digital cartographic models in geographic research and practice in Slovakia is the lack of mature nation-wide market of digital data in the form of standard geoinformation systems or specialised databases;
- Interdisciplinary nature of GIS technologies regarding them as formal tools for scientific exploration and subsequent practical application requires co-operation of all the parties concerned, i.e. their creators and users in order to achieve results which will meet requirements of the present time.

Recenzent: Doc. RNDr. Ján Feranec, CSc.

MOŽNOSTI VYUŽITIA DIAĽKOVÉHO PRIESKUMU ZEME (DPZ) A GIS-u PRI IDENTIFIKÁCII A EVALUÁCII POVODŇOVEJ HROZBY.

Anna GREŠKOVÁ

Abstract

The study deals with the use of the remote sensing data and GIS technology for identification of the flooded areas and of the small terrain depressions up to 0.5 metres which remain filled by water also after the retreat of flood wave. Applications were demonstrated on example of inundation area of the river Morava.

Key words: flood hazard, Morava river, remote sensing data, GIS

Informácie, ktoré môžeme získať prostredníctvom diaľkového prieskumu Zeme, majú široké aplikačné možnosti v geografických výskumoch a uplatňujú sa i vo výskume povodňovej hrozby. Práca poukazuje na možnosti využitia metód interpretácie leteckých snímok a techno-

RNDr. Anna GREŠKOVÁ, CSc.

Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

lógie GIS pre identifikáciu, mapovanie, hodnotenie a priestorovú predikciu povodňovej hrozby. Naším cieľom je overiť si vhodnosť údajov DPZ a GIS-u nielen pri identifikácii priestorového rozsahu zaplavených plôch odpovedajúceho príslušnému N-ročnému prietoku (Q) a jemu prislúchajúcemu vodnému stavu (H) počas povodne, ale i pri rozpoznaní a spresnení malých denivelácií terénu do 0,5 m, ktoré zostávajú vyplnené vodou i po opadnutí povodňovej vlny (na príklade modelového územia inundácie dolného toku Moravy).

1. Prírodná hrozba, povodňová hrozba

Na výskum problematiky prírodných (environmentálnych) hazardov a rizík, ako podstatnej súčasti anglosaskej a frankofónnej environmentálnej geografie poukázal u nás Drdoš (1992). Dnes môžeme konštatovať, že táto problematika sa udomácnila i u nás a zaujala adekvátne miesto i v prácach slovenských geografov. Vychádzajúc z dostupnej odbornej literatúry môžeme sa stotožniť s tvrdením Drdoša (1992), že *prírodná hrozba (hazard)* je jav, prírodný proces (povodne, vulkanizmus, zemetrasenie, veterné smršte, sucho a pod.), ktorý sa pravidelne, či nepravidelne vyskytuje, dramaticky môže zmeniť krajinu, ohroziť človeka, ako aj výsledky jeho práce.

Povodňová hrozba sa vyskytuje nepravidelne s určitou N-ročnou periodicitou za určitých, danému javu priaznivých klimatických, hydrologických, substrátových a ďalších podmienok, kedy dochádza za maximálnych prietokov a im odpovedajúcim vodným stavom k vybreženiu vody z koryta do bezprostredného okolia toku. Rozsah zaplavenej plochy spravidla závisí od veľkosti prietokov a im odpovedajúcich vodných stavov, pričom veľkú úlohu tu samozrejme zohrávajú protipovodňové opatrenia, prirodzené a umelo vytvorené retenčné priestory.

Povodňovému hazardu a povodniam, ako jednej z najväčších prírodných katastrof sú venované viaceré práce (napr. Lawford et al. 1995, Smith 1993, Tobin a Montz 1994). Ďalej môžeme uviesť napr. prácu Kenna (1990), v ktorej boli na základe hydrogeomorfologickej analýzy identifikované 4 zóny povodňového hazardu pre územie centrálnej Arizóny. Otázkam rastu povodňového hazardu následne po úprave a regulácii toku sa venoval vo svojich prácach Wyzga (1993, 1996).

V našej odbornej literatúre metodicky postup na identifikáciu povodňovej hrozby vychádzajúci z hodnôt prietokov prekročených s danou pravdepodobnosťou (Q_n , $n = 1, 2, \dots, 100$ rokov), ktoré boli priradené jednotlivým čiastkovým formám georeliéfu v rámci nivy modelového územia doliny Turca podali Trizna, Minár a Tremboš (1993), Tremboš, Minár a Machová (1994), Trizna (1994). Podľa autorov, pravdepodobnosť zasiahnutia rozpoznaných genetických foriem georeliéfu dna doliny povodňou je ekvivalentná pravdepodobnosti výskytu prietoku, pri ktorom výška hladiny dosiahne povrch formy. Hranice jednotlivých genetických foriem georeliéfu považujú autori za hranice jednotlivých stupňov povodňového hazardu.

2. Využitie diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) a geografického informačného systému (GIS) pri identifikácii zaplavených území a povodňovej hrozby

V 70-tych rokoch zaznamenávame rýchly rozvoj metód DPZ a GIS. Aplikácia leteckých a satelitných snímok podmienila rýchle zmeny v technológii mapovania objektov, javov, či procesov prebiehajúcich v krajine, kde je dnes už takmer samozrejmosťou využitie údajov získaných technikami diaľkového prieskumu Zeme.

Využitie leteckých, poprípade satelitných snímok nám podľa Feranca a Oťaheľa (1997) umožňuje operatívnu, polohovo presnú a časovo aktuálnu identifikáciu objektov zemského povrchu, v našom prípade zaplavených plôch, podľa ich fyziognomických, morfoštruktúrnych a priestorových znakov.

Letecké snímky spolu s hydrologickými údajmi a doplňujúcim terénnym výskumom môžu byť základným zdrojom informácií o priestorovom rozsahu záplav. Doplňujúcimi zdrojmi informácií sú i vodohospodárske a topografické mapy v mierka 1:50 000 a 1:10 000. Problémom môže byť získanie snímky vyhovujúcej kvality k danému požadovanému termínu. Najideálnejším riešením by bolo operatívne snímkovanie počas povodne, keďže sa môže jednať o pomerne krátkodobu trvajúci jav.

Najbežnejšie používanou metódou interpretácie leteckých panchromatických snímok je *analogová (vizuálna) interpretácia*. Metódy analogovej interpretácie využívajú rozsiahlu paletu interpretačných znakov, ako sú: poloha, tvar, veľkosť, farba, textúra, štruktúra, kontext, pričom do procesu interpretácie je vložený značný podiel ľudskej práce, čo umožňuje aplikovať postupy, ktoré sú čisto numerickými metódami nezvládnuteľné, avšak na druhej strane sú zaťažené určitým stupňom subjektivity a unikátnosti (Šúri 1996).

Zmeny v rozsahu zaplavených plôch môžeme získať porovnaním snímok z viacerých časových horizontov. Identifikácia zmien môže po ich digitalizácii prebiehať v prostredí GIS.

Prednosťou údajov získaných DPZ je hustota informácie a polohová presnosť informácie. Nedostatkami sú časté problémy súvisiace so zosúladením termínu snímkovania územia s povodňovou situáciou. Úspešná aplikácia predpokladá pružné reagovanie na situáciu, t.j. snímkovanie územia na objednávku k požadovanému termínu.

Skúsenosti s využitím DPZ a GIS v skúmaní povodňového hazardu a identifikácii zaplavených území

Prvé práce, ktoré poukazujú na význam diaľkového prieskumu Zeme a na aplikáciu leteckých, či satelitných snímok pri výskume povodňového hazardu sa objavujú koncom 80-tych rokov.

Aplikácia údajov DPZ si vyžiadala patričnú integráciu dát pomocou technológie GIS, ktorá znamenala radikálnu zmenu v prístupe k správe a spracovaniu rozsiahlych geografických dátových súborov a umožnila riešiť úlohy komplexného, syntetického charakteru na novej kvalitatívnej úrovni.

Údaje DPZ boli využité napr. pri skúmaní povodňového hazardu a zmien koryt väčších riek počas katastrofických povodní v Bangladéši, ktoré boli analyzované pomocou multispektrálnych satelitných snímok Landsat. Využívaciu technológiu GIS bol analyzovaný reliéf a boli identifikované miesta mimo dosahu záplav, na čom bola založená aj evakuačná stratégia (Rosenfeld 1994). Podobne, využívaciu satelitné snímky Landsat-TM a poznatky o geomorfológii a cyklonálnom prúdení, boli zostavené mapy povodňového hazardu pre ohrozené územia Indie (Murty et al. 1993).

Metódy DPZ a technológia GIS našli uplatnenie a využitie v účinnej protipovodňovej ochrane aj u nás. Prednosťou GIS je nielen rýchla dostupnosť presných informácií z viacerých tematických vrstiev, ale i možnosť modelovania rôznych variánt povodňových situácií, ktoré umožňujú operatívne prijatie opatrení na elimináciu potenciálnych dôsledkov povodne.

Treba spomenúť pracovisko Povodia Dunaja, kde vybudovali vlastný geografický informačný systém Povodia Dunaja – GIS PD, oceňujúc jeho multidisciplinárny charakter a jeho široké využitie v protipovodňovej ochrane (Hladká a Minárik 1997, Minárik a Barca 1997). Ako topografický základ bol vytvorený digitálny model hlavných vodných tokov povodia – Dunaja, Moravy, M. Dunaja a dolného Váhu, vrátane ich inundácií a priľahlého územia. Jedným z druhov vstupných dát pre tvorbu digitálneho modelu terénu boli i dáta získané fotogrammetrickým vyhodnotením leteckých snímok. Digitálny model terénu môže byť efektívne využitý napr. pri modelovaní hladín, či simulácie záplav. Takto bol digitálny model terénu inundácie Moravy využitý pri zostavovaní matematického modelu hladinového režimu rieky pri rôznych prietokových situáciách (Rusina 1997).

Dostupné digitálne technológie boli úspešne odskúšané na modelovom území v Slovenskom vodohospodárskom podniku š.p. Banská Bystrica pri výpočte a zobrazení maximálnej zátopy spolu s objektami na ktorých by došlo k zaplaveniu a škodám (Lichý et al. 1997). V grafickom prostredí boli pretínaním (prekrytím) terénnych modelov výšky hladiny v toku pre jednotlivé časové okamihy s digitálnym modelom koryta toku získané obrisy zaplavených plôch.

Problémom zostáva tvorba kvalitného digitálneho modelu reliéfu, ktorý následne ovplyvní vierohodnosť výsledkov modelovania hladín a simulácie povodní. Pre tvorbu DMT môžu byť použité rôzne vstupné dáta, ktoré môžu byť získané napr. digitalizáciou vrstevníc, fotogrammetrickým vyhodnotením leteckých snímok, geodetickým meraním a pod. V prípade rozsiahlych inundačných území, keďže sa jedná zväčša o veľké rovne plochy často s pestrým mikoreliéfom, nemusia byť malé denivelácie terénu do 0,5m (významné z hľadiska geobotanického, pôdneho,...) zachytené dostupnými topografickými mapami v mierke 1:10 000. Tieto by bolo možné, podľa nášho názoru, identifikovať pomocou mikrodepresií ktoré zostávajú dočasne vyplnené vodou po opadnutí povodňovej vlny (príklad dolnej časti inundácie toku Moravy).

3. Aplikácia leteckých snímok a GIS-u pri výskume povodňovej hrozby v modelovom území inundácie dolného toku Moravy

Záujmové územie

Študované územie zaberá medzihrádzový, inundačný priestor rieky Moravy južne od Vysokej pri Morave približne od 10,5 po 20,5 rkm. Na prvý pohľad jednotvárný rovinný reliéf je poznačený fluvialnou činnosťou rieky a v mikromierke sa javí ako pomerne pestrý s početnými mikrodepresiami a starými mŕtvymi ramenami v rôznom stupni zanesenia a zarastania.

Použité údaje a metodika

Použijeme metódu analógovej interpretácie údajov DPZ z leteckých panchromatických snímok na priestorovú identifikáciu zaplavených plôch. Pozitívne kópie leteckých panchromatických snímok záujmového územia zväčšené do mierky 1:10 000 (z roku 1985) a 1:20 000 (z roku 1990) boli zakúpené z Topografického ústavu v Banskej Bystrici. Výber snímok musel vychádzať zo zosúladenia termínu leteckého snímkovania a povodňovej situácie. Proces identifikácie spočíva v priestorovom vyhraničení zaplavených plôch vo fotomapách získaných z leteckých snímok. Prednosťou postupu je zvýšená presnosť vyhraničených zaplavených plôch a možnosť priestorovo vyhraničiť daný jav i v nedostupných oblastiach počas povodní.

Identifikácia zaplavených plôch sa uskutoční na základe analýzy farby a textúry plôch na fotomape. Vykreslené zaplavené plochy v podobe uzavretých polygónov – areálov zaplavených vodou, budú prekreslené na fóliu a zdigitalizované v prostredí TOPOL. Výsledkom analógovej interpretácie je rozpoznanie areálov s rôznym stupňom zaplavenia-zátopy (kategórie: súvislá vodná hladina, vodná hladina so solitérnou stromovou a krovinnou vegetáciou, čiastočne zaplavená,...) a zostavenie legendy – interpretačnej schémy. Interpretované údaje z leteckých snímok budú transformované do požadovaného kartografického zobrazenia mapy.

Hydrologické údaje

Výber povodňových udalostí sme uskutočnili na základe štatistických hydrologických údajov, pričom sme sa museli podriadiť termínom snímokovania. V prvom rade sme si zistili termín výskytu maximálnych vodných stavov a prietokov na Morave za posledných 20 rokov. V tomto období sa vyskytli na Morave prakticky len dve povodňové situácie, a to v roku 1977 za maximálneho prietoku $Q_{\max} = 998 \text{ m}^3$, ktorý môžeme charakterizovať ako 10-ročný Q a v roku 1985 za maximálneho prietoku $Q_{\max} = 881 \text{ m}^3$, ktorý môžeme charakterizovať ako 5-ročný Q . Naše záujmové územie bolo od roku 1969 snímokované iba sedemkrát a na naše šťastie i v roku 1985 v čase povodni na Morave.

V roku 1985 kulminovala Morava v profile Moravský Ján 12.8. za prietoku $Q = 881 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a v Záhorskej Vsi 13.8. za prietoku $Q = 845 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Snímokovanie bolo realizované 24.8.1985, kedy boli namerané nasledovné hodnoty:

Moravský Ján – $Q = 222,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Záhorská Ves – $Q = 265,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
H = 367 cm	H = 342 cm

Pre porovnanie sme zvolili aj druhý termín snímokovania z 11.5.1990. V danom roku, ktorý bol pomerne suchý sa maximálne prietoky vyskytli v Moravskom Jáne 26.5.1990 ($Q_{\max} = 295 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a v Záhorskej Vsi 27.5.1990 ($Q_{\max} = 224 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a boli hlboko pod 1-ročným kulminačným prietokom ($395 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). V deň snímokovania boli namerané nasledovné hodnoty:

Moravský Ján – $Q = 74,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Záhorská Ves – $Q = 72,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
H = 193 cm	H = 133 cm

Samotné štatistické hydrologické údaje majú bodový charakter a neposkytujú nám priestorovú informáciu o plošnom rozsahu daného javu (napr. 10-ročný Q a priestorový rozsah záplavy).

Vzťah medzi výškou hladiny v toku a priestorovým dosahom záplav je evidentný. Je samozrejmé, že vodné stavy vyjadrené v m n.m. musia najprv dosiahnuť nadmorskú výšku brehovej čiary, aby došlo k vybreženiu. V inundačnom území Moravy poznáme prípady, kedy je okolité územie nižšie ako brehová čiara a voda zostáva v medzihrádzovom území aj po opadnutí vysokých vôd, keďže nemá kam odtiecť. Ťažko by sme mohli tvrdiť, že k zaplaveniu územia určitej nadmorskej výšky dôjde už vtedy, keď vodný stav v koryte dosiahne danú nadmorskú výšku terénu.

Analýza reliéfu je nevyhnutným podkladom pre výskum povodňovej hrozby modelového územia a spresnenie malých denivelácií terénu do 0,5 m, ktoré nie sú často zachytené ani na topografických mapách v mierke 1:10 000. Predmetom digitalizácie budú taktiež vrstevnice topografickej mapy v mierke 1:10 000. Následne budú prekryté dve digitálne vrstvy, a to

zdigitalizované vrstevnice (m n.m.) a zdigitalizované polygóny zaplavených plôch pri danej výške povodňovej vlny v m n.m.

Výsledky budú podkladom pre modelovanie a priestorovú predikciu povodňovej hrozby pri N-ročných Q s určitou pravdepodobnosťou prekročenia a im odpovedajúcim vodným stavom (mapa povodňovej hrozby). To predpokladá hodnoty prietokov s pravdepodobnosťou prekročenia $n = 1, 3, 5, 10, 50, 100$ rokov a stanovenie im odpovedajúcich vodných stavov (m n.m.) na základe vzťahu $Q = f(H)$.

4. Záver

V tomto príspevku sme predstavili najmä metodiku práce. Na záver môžeme konštatovať, že využitie leteckých snímok a GIS-u poskytuje nové možnosti pri presnej identifikácii a evaluácii povodňovej hrozby, ako aj plytkých denivelácií terénu na základe povrchového zaplavenia po ustupujúcej povodňovej vlny. Ich rozpoznanie má nesporný význam pre ďalšie geovedné výskumy napr. geobotanikov a pedológov.

Integrácia výsledkov v prostredí GIS-u umožňuje analýzu vzťahu nielen medzi zaplavenými plochami a reliéfom, ale v ďalšom aj land use, vegetačnou pokrývkou a pod. Prekrytím mapy povodňovej hrozby s mapou využitia zeme môžeme napr. získať cenné informácie o veľkosti rizika vyplývajúceho z hospodárskeho využívania povodňami ohrozených areálov.

Príspevok vznikol v rámci vedeckého projektu č. 2/4063/98 riešeného za podpory grantovej agentúry VEGA.

Literatúra:

- DRDOŠ, J. (1992): Prírodné prostredie: zdroje – potenciály – únosnosť – hazardy – riziká. Geografický časopis, 44, 30-39.
- HLADKÁ, B., MINÁRIK, P. (1997): Geografický informačný systém a jeho využitie v protipovodňovej ochrane. Povodne a protipovodňová ochrana, Banská Štiavnica, 209-213.
- KENNY, R. (1990): Hydrogeomorphic Flood Hazard Evaluation for Semiarid Environments. Quarterly Journal of Engineering Geology. 23, 4, 333-336.
- LAWFORD, R. G., PROWSE, T. D., HOGG, W. D., WARKENTIN, A. A., PILON, P. J. (1995): Hydrometeorological Aspects of Flood Hazards in Canada. Atmosphere-Ocean, 33, 2, 303-328.
- LICHÝ, J., KLAČAN, J., STYK, J. (1997): Modelovanie neustáleho prúdenia vôd. Geoinfo Slovakia '97, Bratislava, 70-73.
- MINÁRIK, P., BARCA, R. (1997): Diaľkový prieskum Zeme – zdroj informácií pre preventívne, zabezpečovacie a záchranné práce v protipovodňovej ochrane. Povodne a protipovodňová ochrana, Banská Štiavnica, 204-207.
- MURTY, M. V., RAO, R. S., BHAGAVAN, S. V. (1993): Geomorphological Studies for Disaster Mitigation – A Case-Study of the Krishna-Delta, Andhra-Pradesh, India. International Journal of Remote Sensing, 14, 17, 3269-3274.
- OŤAHEL, J., FERANEC, J. (1997): Mapovanie využitia krajiny a krajinynej pokrývky na Slovensku. Geografický časopis, 49, 35-45.

- ROSENFELD, CH., L. (1994): The Role of Geographers in the Study of Natural Hazards. In: Environment and Quality of Life in Central Europe: Problems and Transition, Conference Proceedings, Praha, CD ROM
- RUSINA, P. (1997): Možnosti využitia GIS-u v projekte renaturácie rieky Moravy. Geoinfo Slovakia '97, Bratislava, 86-89.
- SMITH, K. (1993): Riverine flood hazard. *Geography*, 2, 182-185.
- ŠÚRI, M. (1996): Analýza a hodnotenie možností využitia diaľkového prieskumu Zeme vo výskume erózie pôdy. *Geografický časopis*, 48, 73-92.
- TOBIN, G. A., MONTZ, B. E. (1994): The Flood Hazard and Dynamics of the Urban Residential Land Market. *Water Resources Bulletin*, 30, 4, 673-685.
- TREMBOŠ, P., MINÁR, J., MACHOVÁ, Z. (1994): Identifikation of selected natural Hazards from viewpoint of the evaluation of environmental limits. *AFRN UC, Geographica*, Nr. 34, 135-151.
- TRIZNA, M., MINÁR, J., TREMBOŠ, P. (1993): Náčrt metodiky a modelový príklad hodnotenia povodňového hazardu. *Geografia – aktivity človeka v krajine*, Prešov, 95-100.
- TRIZNA, M. (1994): Hydrologické aspekty hodnotenia povodňovej hrozby (na príklade toku Žarnovica). *AFRN UC, Geographica* Nr. 35, 85-94.
- WYZGA, B. (1993): River Response to Channel Regulation – Case-Study of the Raba River, Carpathians, Poland. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- WYZGA, B. (1996): Changes in the Magnitude and Transformation of Flood Waves Subsequent to the Channelization of the Raba River, Polish Carpathians. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 8, 749-763.

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF REMOTE SENSING DATA AND GIS IN IDENTIFICATION AND ASSESSMENT OF FLOOD HAZARD

Anna GREŠKOVÁ

Summary

The aim of the article is to point at suitability of the remote sensing data and GIS technology for a) identification of the size of flooded areas (the inundation corresponding to surface size and the particular N-year discharge) and b) in recognition of small terrain delevelled spots up to 0.5 metres which remain filled by water also after the retreat of flood wave. Both applications were demonstrated on example of inundation model area of the lower reach of the river Morava. The work outlines the methods of spatial identification of inundated areas by the method of analogue remote sensing data interpretation from the aerial panchromatic photographs for two terms (August 24, 1985 and May 11, 1990). Spatially limited inundated areas will be digitised. Then also the contour lines of topographic map will be digitised and confronted with the inundated areas for spatial recognition of inundated areas corresponding to N-year Q and small terrain delevelings, which are often missing even in very precise topographic maps in scale 1:10000.

Translated by H. Contrerasová

Recenzent: Doc. RNDr. Ján Feranec, CSc.