

JULIUS ČESÁK, MIROSLAV ŠOBR

METODY BATYMETRICKÉHO MAPOVÁNÍ ČESKÝCH JEZER

J. Česák, M. Šobr: Methods of bathymetric mapping of Czech lakes. – Geografie – Sborník ČGS, 110, 3, pp. 141–151 (2005). – The article outlines the most frequent methods used for mapping of lakes of natural or anthropogenic origin. The methodology is based on outlooks used for more than one hundred years. Two ways of mapping of shorelines and subsequent bathymetric measurements are described. Processing of the obtained data and the final format and appurtenance of maps are described here as well.

KEY WORDS: Shoreline mapping – bathymetric mapping – MapInfo – Surfer – geodetic total station – volume of lake basins – interpolation – echo sounder.

Článek vznikl za finanční podpory grantu GAČR „Atlas jezer České republiky“ (205/03/1264).

1. Úvod

Cílem článku je nastínit metody nejčastěji používané při mapování jezer přírodního nebo antropogenního původu. Metodika vychází z přístupů, které jsou používány více než sto let. Na dlouholetý výzkum jezer, který započal mapováním šumavských glaciálních jezer prof. Václav Švambers, navazovali postupně další vědci (Janský 1996). Metody jejich batymetrického mapování se výrazně nelišily. Základem je zmapování břehové linie, po kterém následuje měření hloubek podél vytyčeného profilu. Období dlouhých desetiletí, kdy se výzkumníci neobešli bez teodolitu pro měření úhlů, pásem pro měření délek a olovnice pro měření hloubek (Švambers 1912, Kuchař 1947), střídá éra měření pomocí moderních přístrojů – totální geodetické stanice a sonarů. Ruční vykreslování břehové linie a interpolaci naměřených hloubek nahrazuje počítačové zpracování naměřených hodnot pomocí několika typů software.

Jelikož nelze vždy použít totální geodetickou stanici pro vyměření půdorysu (břehové linie) jezera, je v samostatné kapitole nastíněn i postup měření pomocí ortogonální metody (Janský, Šobr a kol. 2003). Popsané metody mapování lze využít u většiny českých jezer přírodního či antropogenního původu. Pro mapování větších vodních ploch (přehrady, plošně velká jezera) je nutné metodiku upravit, přičemž základ zůstává stejný – získat místa na hladině jezera s přiřazenými souřadnicemi x , y , z pro vykreslení hloubnic. Nabízí se zde kombinace GPS a echolotu s možností ukládání dat ve zvoleném intervalu.

2. Metody mapování břehové linie

Ještě před započítáním vlastního terénního mapování je důležité seznámit se s mapovanou vodní plochou. Je nutné předem jezero obejít, vybrat místa, kde

bude vhodné zřídit základní polygonové body (na kterých bude možné snadno postavit stativ s teodolitem nebo totální stanicí s odkrytým výhledem na ostatní body). Rovněž je potřeba znát alespoň přibližně hloubkové poměry jezera, abychom mohli správně rozmístit vrcholy příčných profilů pro měření hloubek (viz 2.2.).

Mapování břehové linie lze provádět dvěma základními způsoby. Tím méně moderním a více pracným způsobem je mapování pomocí ortogonální metody (viz 2.1.). Díky pokroku moderních technologií ve výrobě geodetických přístrojů a počítačových programů, můžeme v současné době provádět půdorysná a batymetrická mapování jezer mnohem rychleji a přesněji. Využíváme k tomu totální geodetickou stanicí s vnitřní pamětí a počítačové programy MapInfo či ArcView a Surfer.

Pro obě dvě metody je důležité, vyznačit si vhodným způsobem (např. terčíky s čísly) body na břehové linii, které využijeme pro vytyčení profilů, na nichž budeme provádět hloubková měření. Každý takto vyznačený bod je nutné zaměřit a mít jej přesně zanesený v půdorysném plánu, protože z něho bude vycházet jeden či více hloubkových profilů, které je posléze potřeba přesně lokalizovat v mapě. Podél těchto linií jsou potom měřeny hloubky. Počet profilů a jejich rozmístění na břehové čáře pečlivě zkontrolujeme (nejlépe pomocí jednoduchého náčrtku vodní plochy), aby hustota hloubkových měření byla dostatečná a rovnoměrná po celé ploše jezera.

2.1. Mapování ortogonální metodou

Mapování ortogonální metodou spočívá ve využití uzavřeného polygonového pořadu a pravouhlých souřadnic. Polygonový pořad je prostorová lomená čára, která je určena vodorovně měřenými délkami stran a vodorovnými úhly, které mezi sebou strany svírají. Jednu stranu polygonového pořadu je potřeba zorientovat k severu, pro naše účely postačuje pomocí kapesního kompasu nebo buzoly. Polygonové strany slouží jako základny, vůči nimž se určuje poloha zvolených bodů na břehové linii pomocí pravouhlých souřadnic – kolmicemi a staničením. Kolmice udávají kolmou vzdálenost vybraného bodu břehové linie od polygonové strany. Staničení udává vzdálenost paty kolmice od začátku polygonové strany. Z důvodů přesnosti měření je nutné vést polygonové strany co nejbliže k břehové linii jezera, délka kolmice by neměla přesáhnout 2 m (Čapek 1992).

Měření horizontálních úhlů provádíme pomocí teodolitu (např. THEO 080 A), všechna délková měření pomocí pásem. Polygonové body je potřeba volit tak, aby bylo možno na ně postavit přístroj a aby z něho bylo dobře vidět na oba sousední body při měření horizontálního úhlu. Zároveň se snažíme vybrat co možná nejmenší počet polygonových bodů, protože s jejich narůstajícím počtem roste riziko chyby. Kontrolu správnosti měření vnitřních úhlů polygonu lze provést pomocí jednoduchého vzorce pro součet vnitřních úhlů v mnohoúhelníku (kde n je počet polygonových bodů):

$$\Sigma_{\alpha} = (n - 2) \times 200^{\text{g}}.$$

Z naměřených hodnot potom buď ručně nebo pomocí geodetického programu (např. KOKEŠ) vykreslíme půdorysný plán jezera. Ručně vykreslený plán je možné po digitalizaci napasovat jako rastrovou vrstvu na digitální model reliéfu a usadit vytvořený půdorysný plán jezera do globálního souřadného systému.

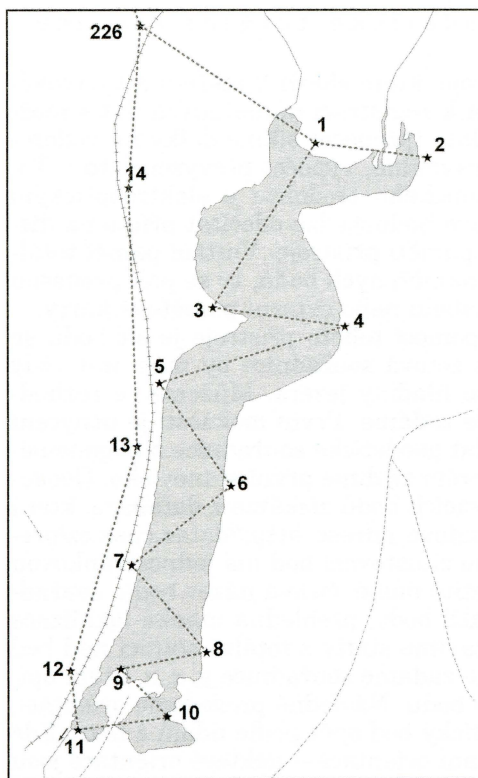
2.2. Mapování pomocí geodetické totální stanice

Geodetické totální stanice jsou přístroje, které slouží k měření a vytyčování vodorovných a svislých úhlů, délek a k registraci naměřených dat s možností matematických operací s těmito daty (přepočet šikmé délky na vodorovnou, převod polárních souřadnic na pravouhlé, výpočet převýšení atd.). Totální stanice je souosé spojení elektronického teodolitu s elektrooptickým světelným dálkoměrem. Úhlové a délkové hodnoty lze odečítat přímo na displeji a zároveň je registrovat ve vnitřní paměti přístroje. Vnitřní paměť totální stanice má kapacitu až několik tisíc naměřených bodů, ty se pak přenesou do počítače buď pomocí propojovacího kabelu nebo externí paměťové karty.

Výsledkem měření půdorysu jezera pomocí tohoto přístroje je síť bodů se známými souřadnicemi x , y , z , přičemž zetová souřadnice by měla mít vždy stejnou hodnotu rovnou absolutní výšce hladiny jezera. Můžeme se rozhodnout, jaké vstupní souřadnice do stanice zadáme. První možností je uchycení do souřadnicového systému JTSK – zadat geodetické souřadnice z trigonometrického nebo zhušťovacího bodu, na kterém zřídíme první stanovisko. Geodetické údaje trigonometrických a zhušťovacích bodů získáme z databáze, která je v současné době dostupná na internetové adrese <http://dataz.cuzk.cz/prehledky.php>. Každý trigonometrický nebo zhušťovací bod má jednostránkovou tabulku, kde jsou uvedeny všechny důležité údaje: číslo a název bodu, souřadnice, nadmořská výška, orientace na další body, přehledná mapka lokalizace bodu. Postupujeme tak, že nejprve postavíme stativ s totální stanicí nad bod a provedeme centraci a horizontaci. Dále zadáme souřadnice y , x , z , které opíšeme z listu geodetických údajů daného bodu. Následně provedeme orientaci, která spočívá v zaměření na jiný geodetický bod opět podle údajů z listu. Zde je potřeba upozornit na nejednotnost udávání orientace – některé orientace jsou udány v grádech, některé ve stupních. Do totální stanice je potřeba zadat úhel v grádech. Dále postupujeme tak, že vedeme volný polygonový pořad až k místu prvního stanoviště u mapované vodní plochy. Ve směru k zájmovému území (jezeru) postavíme stativ s odrazným hranolem a zaměříme tento bod. Poté přeneseme totální stanici na určený bod, zadáme jej jako stanovisko (souřadnice jsou již uloženy v paměti) a provedeme orientaci na předchozí (trigonometrický nebo zhušťovací) bod. Takto postupujeme, až dojdeme k mapovanému objektu. Každý zaměřený bod má své pořadové číslo, které je přiřazováno automaticky nebo si jej můžeme zvolit. Je dobré zvolit zcela odlišná čísla bodů polygonového pořadu od čísel, která budeme používat pro body měřené na břehové linii (obr. 1).

Pokud se nenachází v blízkosti zkoumané lokality žádný geodeticky zaměřený bod, lze použít k určení souřadnic přístroj GPS. GPS přístroje většinou udávají souřadnice v systému WGS 84 (zeměpisné souřadnice) a současně v systému S-42 (souřadnice x , y). Tyto souřadnice nelze však do totální stanice zadat. Je nutné provést jejich převod pomocí příslušného programu na souřadnice JTSK. Orientaci potom provedeme na jiný pomocí GPS přístroje zaměřený bod. Další možností je zorientování TS (totální stanice) podle kompasu k jihu a zadáme v tomto směru horizontální úhel $H_z=0$. Takto popsaná metoda v sobě ale zahrnuje značnou chybu, protože přístroj GPS udává polohu podle použitého přístroje s přesností 1–10 m, nadmořskou výšku obvykle s přesností 1–20 m (Steiner, Černý 2003). Rovněž určení orientace podle kompasu není dostatečně přesné.

Třetí možností je založení tzv. místního souřadného systému, kdy zadáme jako výchozí souřadnice hodnoty $x=0$, $y=0$. Hodnotu nadmořské výšky může-



Obr. 1 – Vyměření břehové linie Mladotického jezera z roku 2003 (Janský 2003). Uzavřený polygonový pořad z trigonometrického bodu 226 k mapované lokalitě. Čísla 1–11 udávají stanoviška, ze kterých byla pomocí totální stanice lokalita mapována.

vě linie – větší hustota měřených bodů), stejně jako u ortogonální metody. Na zvolených bodech potom figurant umísťuje odrazný hranol, na který se zaměřuje. Jednotlivé zaměřené body jsou automaticky číslovány (pozor na odlišení číslování od bodů hrubého polygonu). Přesnost měření břehové linie je po správném nastavení totální stanice závislá pouze na figurantovi s odrazným hranolem, který musí výtyčku s odrazným hranolem držet kolmo nad břehovou linií (obr. 2). Zde dochází k první generalizaci průběhu břehové linie. Pokud se vyskytne nepřístupný úsek na břehové linii (příkrá skála apod.), lze měřit pomocí viditelné laserové stopy bez nutnosti použití odrazného hranolu. Použití laserového paprsku je limitováno vzdáleností od překážky, ta závisí na typu přístroje (např. Leica TCR 705 může měřit až na vzdálenost 180 m).

3. Metody měření hloubek

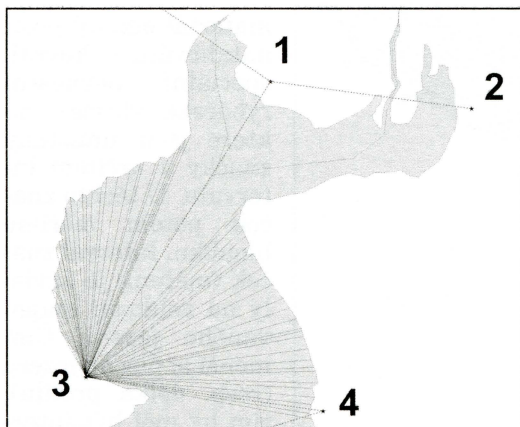
3.1. Použití echolotu

Dříve používané metody měření hloubek pomocí olovnice nebo závaží jsou poměrně přesné, zato však časově náročné. V současné době jsou běžně k do-

me zadat rovněž nulovou nebo hodnotu zjištěnou z mapy nebo výškoměru. Orientaci provedeme rovněž zadáním $H_z=0$, a to do libovolného směru, k významnému bodu v okolí nebo k severu určenému pomocí kompasu.

Poté co máme nastaveno stanoviško a orientaci, můžeme začít s podrobným měřením polohopisu, v našem případě břehové linie. Výhodou totální stanice je, že lze zmapovat celou vodní plochu z několika stanovišek (u menších a přehledných jezer i z jednoho). Proto je velmi důležité zvolit si stanoviška, ze kterých bude vidět pokud možno co největší část břehové linie. Jednotlivá stanoviška je nejlepší zaměřit na začátku měření a přidělit jim čísla, která budou výrazně vyšší než čísla bodů, změřených na břehové linii, aby nedošlo k záměně. Tato čísla bodů je důležité si zapsat, protože při přemístění přístroje (stativu) z jednoho bodu na druhý, bude opět nutné zadat stanoviško (postačuje zadat číslo příslušného bodu, souřadnice se doplní s paměti automaticky) a zorientovat přístroj na jiný bod (obr. 1).

Měřené body na břehové linii volíme víceméně rovnoměrným rozmístěním, které je ale podmíněno tvarem břehové linie (lineární průběh – méně bodů, nepravidelný průběh břehové



Obr. 2 – Ukázka podrobného mapování břehové linie ze stanoviště č. 3. Čáry vycházející z bodu 3 představují jednotlivé záměry z totální stanice na odrazné hranol.

stání echoloty, pomocí kterých můžeme určovat hloubku velmi pohodlně. Přesnost měření závisí na měřené hloubce. Čím je tato větší, tím klesá přesnost až na 0,3 m dle použitého typu přístroje. Ze získaných zkušeností v porovnávání měřených hodnot se závažím spouštěným na cejchované šňůře můžeme konstatovat, že u hloubek do 50 m je přesnost do 10 cm, což pro následnou interpolaci bohatě postačuje. Rozsah měřených hloubek echolotem se většinou pohybuje mezi 0,4–200 m. Existují echoloty s vnitřní pamětí, takže odpadá nepříjemné zapisování hodnot hloubek zvláště v deštivém počasí. Některé typy echolotů jsou dokonce vybaveny

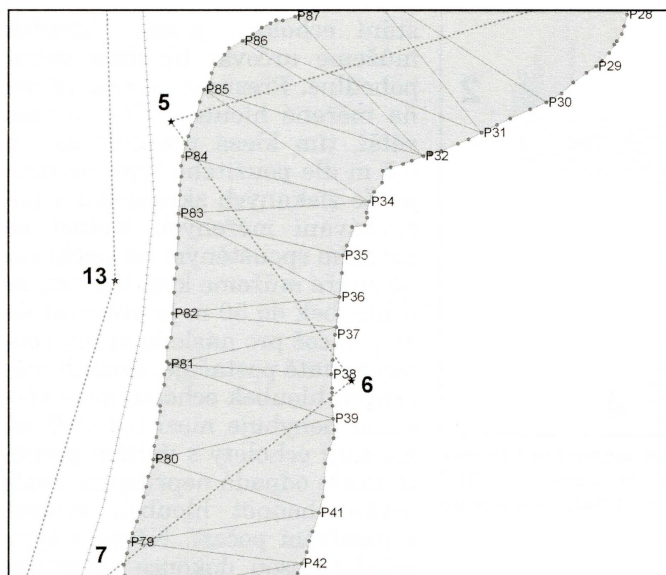
GPS přístrojem, takže ukládaný bod obsahuje souřadnice x , y , z . Tento přístroj je vzhledem k přesnosti měření pozice využitelný pouze na plošně rozlehlých vodních plochách s dobrým příjmem družicového signálu, což u drtivé většiny přírodních i antropogenních jezer v Česku není možné využít.

Echolot je přístroj, který zobrazuje informace o prostředí pod vodní hladinou, které získává příjmem vysílaných vln. Skládá se ze sondy (transducera) instalované pod vodní hladinou, která vysílá vysokofrekvenční emitované vlnění formou kónického kuželu (frekvence většinou 50–200 kHz). V okamžiku, kdy vysílaná vlna narazí na dno nebo se dostane do kontaktu s rybou či jiným objektem, odrazí se zpět a je sondou přijímána. Sonda přijímá vlny (tzv. echa) jako signály a posílá je do samotného přístroje, kde se zpracovávají a zobrazují na displeji.

Sonda echolotu musí být umístěna na nosníku tak, aby byla neustále ponořena pod vodou a její spodní plocha, ze které vychází vysokofrekvenční vlnění, musí být vodorovná s hladinou. Pokud nejsou tyto podmínky splněny, nebude přístroj měřit přesně. Většina moderních echolotů je dvoufrekvenčních. Při použití nižší frekvence (50 kHz) je větší velikost úhlu rozvření kuželu (asi 40°). Tímto způsobem můžeme pozorovat rozsáhlejší oblasti dna, ale s menší přesností měření hloubky. Největší přesnosti měření hloubky dosáhneme při větší frekvenci (200 kHz), kdy je úhel rozvření kuželu asi 10° . Pokud to přístroj umožňuje, zvolíme nastavení duální frekvence. Výsledná hodnota hloubky je pak vypočtena ze dvou měření a je mnohem přesnější. Moderní echoloty jsou schopné rozlišit měkký (např. bahnitý) nebo tvrdý (kamenný) povrch dna. Typ dna je zobrazován na obrazovce barvou podloží (světlejší odstíny – měkký zvodněný sediment, tmavší – tvrdý zpevněný povrch).

3.2. Měření hloubek v příčných profilech

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2, je potřeba mít před započítím batymetrického měření alespoň hrubou představu o rozložení hloubek. Z dříve určených a přesně zaměřených bodů břehové linie vytyčujeme napříč jezerem profily (obr. 3). Přes jezero se napne šňůra z vhodného materiálu (nutno použít



Obr. 3 – Rozmístění příčných profilů pro měření hloubek jezera.

materiál odolný proti natahování – kevral, speciální pevnostní rybářské vlasce), na které jsou umístěny značky v určitém intervalu. U těchto značek potom měříme hloubku. Interval značek (měření) je závislý na velikosti mapovaného jezera. Čím menší je plocha jezera (resp. délka profilu), tím by měl být interval měření menší. Standardně používáme vzdálenost značek v intervalu 5 m u větších jezer, u menších vodních ploch (např. rašelinná jezírka) in-

terval 1 m.

Hloubky se měří ze člunu, který se pohybuje podél napnutého vlasce. Ve vyznačených bodech se na displeji echolotu odečítají hodnoty hloubek, které se ručně zapisují nebo se ukládají do vnitřní paměti echolotu. K vlastnímu měření je nutné použít stabilní člun, aby se minimalizovala možnost jeho převrnutí. Dále je potřeba kontrolovat, aby rychlost pohybu člunu byla úměrná rychlosti změn hloubky na displeji. Pokud se pohybujeme nad rovným dnem, můžeme se pohybovat rychleji než nad místy s větší členitostí nebo při dojíždění ke břehu. Echolot má vždy nepatrné zpoždění, které je dáno zpracováním signálů ze sondy a jejich zobrazením na displeji.

Vzhledem k rozsahu měření echolotu a výše uvedenému zpoždění je problematické vyměření hloubek mělčin. V místech, která jsou jednak zarostlá vodní vegetací nebo jsou mělčí než 0,4 m, echolot nepracuje správně resp. ukazuje chybné hodnoty. Zde je potřeba použít ruční metodu měření hloubek. Lze doporučit cejchovanou lať délky cca 1 m, která je na konci opatřena patkou, která zabráňuje jejímu proniknutí např. do bahnitého dna a zkrácení měření. Stejně tak je nutné postupovat při měření organogenních jezer – rašelinišť a slatinišť. V těchto lokalitách rovněž echolot nepracuje správně, protože se signál odráží od vegetace ve vodním sloupci a je potřeba měřit hloubky mechanicky pomocí cejchované latě.

4. Tvorba batymetrické mapy

4.1. Zpracování půdorysných měření v programu MapInfo

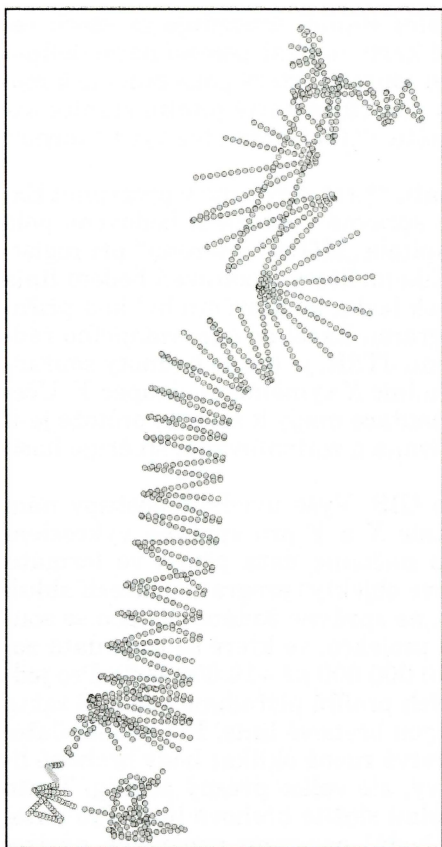
Získané bodové pole z terénního měření je potřeba importovat do PC. Při počítačovém zpracování dat a následném modelování se používá kombinace několika software. V následujících odstavcích jsou stručně popsány postupy počítačového zpracování.

1. Stahování dat z totální stanice. Totální stanice umožňuje ze všech registrovaných dat při stahování z paměťové karty načítat pomocí námi definovaného filtru pouze data a formát datového souboru, který potřebujeme k modelování jezerních pánví. Uložená data na paměťové kartě totální stanice exportujeme přes komunikační kabel ve formátu *.txt (možno též využít formát *.gsi).

2. Práce ze surovými daty. Data ve formátu *.txt otevřeme v programu Excel. Tento mezikrok je velice důležitý pro správné vykreslení bodového pole v programech GIS. Jak bylo uvedeno v kapitole „Měření v terénu“ při registraci bodu na břehové linii označeného terčíkem, který je zároveň bodem linie hloubkových měření, se kód uloží nad řádek bodu, ke kterému byl kód přiřazen. Proto je nutno přesunout kódy v programu Excel do odpovídajícího řádku. Pokud měříme v souřadnicovém systému JTSK, je nutné hodnoty souřadnic X a Y násobit číslem -1 a sloupec souřadnic X vyměnit za sloupec Y . Účelem této operace je správné zobrazení a orientace mapy k severu, protože je-li totální stanice v terénu správně zaregistrovaná a zorientovaná, směřuje horizontální úhel 0 grad k jihu.

3. Tvorba bodového pole v programech GIS. Výše uvedené postupy nám umožnili připravit si bodové pole souřadnic X a Y pro správné vykreslení v programu MapInfo. V tomto programu načteme data přímo ve formátu *.xls a v záložce „Tabulka – vytvořit bodové objekty“ program vykreslí shluk bodů. Pro správné zobrazení je nutno dbát na správné zadání sloupců se souřadnicemi X , Y a zvolení dostatečné meze projekce, ve které se mají data zobrazit (nezeměpisné metry – meze X , Y $-10\,000\,000$ až $+10\,000\,000$). Pro jednodušší orientaci si k bodům batymetrických profilů přiřadíme popis. Z takto vykresleného shluku bodů vytvoříme polygon břehové linie. Při malém datovém souboru můžeme v nově vytvořené vrstvě ručně oklikat body břehové linie a vytvořit polygon. Je to sice zdoluhavý, ale velice přesný postup. Tento postup je také potřeba použít v případě velmi složitě břehové linii. Pro automatické vykreslení (spojení jednotlivých bodů) polygonu použijeme nástroj Connect Points. Tento nástroj není v základním vybavení programu MapInfo a je potřeba si jej, ostatně jako mnoho dalších užitečných doplňkových nástrojů k programu Map Info, stáhnout z internetu <http://www.directionsmag.com> (cesta: Resources – Tools&Data – Utilities, Extensions, Scripts – Connectthedots.zip). Při dalším zpracování je potřeba ještě nástroj DistanceMarker (stejný zdroj – Distmark.zip). Nástroj Connect Points spojí dle námi definovaných parametrů jednotlivé body do uzavřeného polygonu. Je však nutno počítat s tím, že některé velmi složité průběhy břehové linie bude potřeba ručně upravit. Vytvořená „kosmetická vrstva“ je prvním výsledkem morfometrických parametrů zkoumané jezerní pánve. Ihned zjistíme velikost vodní plochy a obvod břehové linie.

Dalším krokem je získávání souřadnic X , Y bodů hloubkového měření. Stále v programu MapInfo v další nově vytvořené vrstvě spojíme hloubkové profily tak jak jsme podél napnutého vlákna jezdili na člunu. V tomto kroku též můžeme kontrolovat, zda-li jsme neudělali chybu při odečítání značek (resp. je-li vzdálenost mezi body přibližně stejná v počítačovém vykreslení a zápisy v terénu). Pro zjištění souřadnic X , Y bodů hloubkových měření použijeme nástroj DistanceMarker. Pro správnou funkci tohoto nástroje musí být linie, na které budou automaticky umístěny body hloubkového měření, převedena na režim lomené čáry (polylines). Zvolíme interval odpovídající měření v terénu podél linií profilu a program vypočítá požadované souřadnice (obr. 4). Pro správnou interpolaci v programu Surfer zahustíme v terénu naměřené body břehové li-



Obr. 4: Síť bodů hloubkových měření podél vytýčených profilů. Známe jejich souřadnice X , Y , Z , které použijeme pro tvorbu modelu jezerní pánve v programu Surfer.

step: Grid – Data – **.xls soubor, který budeme interpolovat. V nabízené tabulce nastavíme parametry interpolace. Důležité je správně zadat sloupce X , Y , Z , dále metodu a roztup (spacing). Čím menší roztup, tím déle bude trvat výpočet, ale nezaručuje to lepší výsledek. Každá modelovaná lokalita si vyžaduje vlastní nastavení parametrů a neexistuje všeobecný návod, jaká čísla zadat do tabulky vstupních parametrů. Vypočtený soubor **.grd znázorníme přes postup: Map – Contour Map – New Contour Map. Jelikož se výsledek zobrazí ve škále monochromatické stupnice se všemi šumy, není na první pohled zřetelně vidět ani břehová linie ani hloubkové stupně. Úpravou nastavení zobrazení, použitím barevné stupnice, vyhlazením hloubnic a zvolením správného intervalu hloubkových stupňů, vhodným posunem a výběrem popisu izobat vytvoříme batymetrickou mapu. Rušivé šumy vymodelované mimo břehovou linii odstraníme oříznutím (Grid – Blank...). Nejdříve otevřeme čáru břehové linie jako (Grid – Base Map...), poté označíme oba objekty na mapě a nástrojem (Map – Overlay Maps...) překryjeme objekty přes sebe. Nástrojem (Map – Break Apart Overlay...) oddělíme opětovně vrstvy. Zviditelníme pouze vrstvu břehové linie, odznačíme všechny listy a veškeré popisy tak, aby zůstala na mapě

nie vypočítanými body na linii břehovky pomocí stejného nástroje. Tento krok není nezbytně nutný, ale je vhodný pro stejnoměrné rozdělení bodů na břehové linii, kterým následně bude přidělena v Z souřadnici hodnota 0 a zvýšení váhy hranice břehové linie jako mezní prostor interpolace. Takto upravené bodové pole exportujeme ve formátu ASCII. V programu Excel k souřadnicím X a Y přiřadíme sloupec Z . Břehová linie bude mít $Z=0$ a souřadnicím na jezeře budou přiřazeny naměřené hodnoty z echolotu. Takto vytvořená databáze bodů je připravena k interpolaci v programu Surfer. Pro použití v Surferu vyexportujeme čáru břehové linie ve formátu **.mif. Tento soubor později použijeme pro oříznutí grafického znázornění modelované jezerní pánve.

4.2. Modelování jezerní pánve v programu Surfer

Program Surfer (Terrain and Surface Modeling) umožňuje pomocí mnoha matematických metod vypočítat a následně graficky vyjádřit prostorový model jezerní pánve. Spektrum použití tohoto programu je velice široké, ale zde se zmiňujeme pouze o postupu, jakým způsobem vymodelovat zatopené jezerní pánve.

Připravená data pro interpolaci použijeme pro výpočet metodou Kriging.

Postup: Map – Contour Map – New Contour Map. Jelikož se výsledek zobrazí ve škále monochromatické stupnice se všemi šumy, není na první pohled zřetelně vidět ani břehová linie ani hloubkové stupně. Úpravou nastavení zobrazení, použitím barevné stupnice, vyhlazením hloubnic a zvolením správného intervalu hloubkových stupňů, vhodným posunem a výběrem popisu izobat vytvoříme batymetrickou mapu. Rušivé šumy vymodelované mimo břehovou linii odstraníme oříznutím (Grid – Blank...). Nejdříve otevřeme čáru břehové linie jako (Grid – Base Map...), poté označíme oba objekty na mapě a nástrojem (Map – Overlay Maps...) překryjeme objekty přes sebe. Nástrojem (Map – Break Apart Overlay...) oddělíme opětovně vrstvy. Zviditelníme pouze vrstvu břehové linie, odznačíme všechny listy a veškeré popisy tak, aby zůstala na mapě

pouze čára břehové linie a následně exportujeme ve formátu **.bln. Takto získaný soubor použijeme pro oříznutí nežádoucích šumů mimo břehovou linii (Grid – Blank). Postup: soubor **.grd ořízneme souborem **.bln a uložíme do nového souboru **.grd.

Při nedostatečné velikosti bodového pole či chybě při přepisu hloubek z terénních poznámek do souboru *.xls může výše uvedená metoda zapříčinit špatné znázornění modelu jezerní pánve. Další nevýhodou toho programu je, že velice špatně interpoluje v jednom směru výrazně protáhlá jezera (poříční, sesuvem hrazená údolní jezera, apod.). I když parametry nastavení interpolace nabízí mnoho možností (zdaleka ne všechny zde byly uvedeny), vždy při modelování úzkých dlouhých jezer dochází k problémům při vizualizaci, protože se na výsledné mapě zvyrazňují linie hloubkových profilů. Důležité je tedy mít dostatečné bodové pole pro interpolaci, zkontrolovaná data (překlepy, křížení profilů, délky profilů, apod.) a dobrou představivost, odpovídá-li vypočtený model realitě. Pro zlepšení vizualizace je též možno použít některý ze široké nabídky předdefinovaných filtrů, či si vlastní filtr vyhlazení izobat vytvořit (Grid – Filter... - **.grd).

Vypočtený soubor **.grd můžeme též použít pro výpočet batymetrické křivky jezera. Pomocí nástroje Grid – Volume... postupně získáme údaje jednotlivých hloubkových stupňů. Postup je časově náročný, jelikož musíme pro každý hloubkový stupeň provést samostatný výpočet. Výsledná batymetrická křivka je však velice přesná a při použití stejných interpolačních metod v budoucnosti je dobrým základem pro získání informací dynamiky sedimentace jezerní pánve.

4.3. Finální úprava a náležitosti mapy

Každá batymetrická mapa musí být kartograficky správná. Musí obsahovat měřítko (z důvodu zmenšování nejlépe grafické) a orientaci pomocí směrové růžice. Pro znázornění hloubkových poměrů jezerní pánve se používají hloubnice (izobaty) a barevná batymetrie. Hloubnice jsou čáry, které spojují body dna vodní plochy, které spolu těsně sousedí a mají stejnou zaokrouhlenou hodnotu vzhledem ke srovnávací ploše, v tomto případě k hladině vodní plochy. Barevná batymetrie spočívá v barevném nespojitém znázornění hloubek po jednotlivých hloubkových stupních. Hloubkovým stupněm se rozumí výškový rozdíl hloubnic, které jej ohraničují, plocha mezi těmito hloubnicemi se nazývá hloubková vrstva. Každá hloubková vrstva se vykrývá barvou, která odpovídá příslušnému hloubkovému stupni podle batymetrické stupnice barev. Většinou se používají obě metody současně.

Při použití barevné batymetrie se musíme zabývat dvěma otázkami: volbou hloubkových stupňů a batymetrické stupnice barev. Volba hloubkových stupňů vychází z hodnoty maximální hloubky. Podle Duba (1953) je vhodné stanovit intervaly hloubnic na 1/5 až 1/10 maximální hloubky. U mělkých jezer můžeme zvolit interval hloubkového stupně i po 0,2 m. Počet hloubkových stupňů by neměl překročit 10, při větším počtu roste nutnost použití více barevných odstínů, které jsou od sebe vizuálně těžko odlišitelné. Rídíme se zásadou, čím větší hloubka, tím temnější barva a čím větší hloubka, tím chladnější barva. V černobílé podobě má batymetrická stupnice barvy v odstínech šedé, v barevném provedení volíme buďto odstíny modré nebo začínáme zelenomodrou barvou a přes odstíny modré končíme tmavě modrou až modrofialovou barvou.

V každé jezerní pánvi uvádíme maximální hloubku. Většinou se popisuje beze jména, hodnota maximální hloubky (kóta) se situuje vždy vodorovně, nej-

lépe vpravo od značky bodu nebo symetricky nad ni. U pojmenovaných bodů se jméno umísťuje nad značku a kóta pod ni. Popis hloubnic (izobat) provádíme ve směru jejich průběhu tak, aby vršky číslic směřovaly k vyšší hodnotě nadmořské výšky, tzn. k břehové linii. Čára hloubnice se přerušuje pokud možno v místě, kde má tato hladký průběh, číslo se umístí tak, aby jej hloubnice dělila na dvě poloviny. Číslo hloubnic by neměly vytvářet sloupce, ty působí neesteticky. Z hlediska hledání jednotlivých hloubek v mapě je lepší, aby byla čísla rozmístěna rovnoměrně po celé mapě (Čapek 1992).

5. Závěr

Metodika popsaná v tomto článku ukazuje, jakým způsobem je možné využít moderních přístrojů při terénním fyzickogeografickém výzkumu. Období měření olovnici a ruční interpolace jezerních pánví tak definitivně střídá práce s přesnými elektrooptickými a sonarovými přístroji. Díky zavedení nových postupů a s použitím totální geodetické stanice a echolotu při terénním mapování dochází ke zkrácení a zjednodušení práce. Rovněž dosažené výsledky lze při dodržení všech základních geodetických pravidel a postupů považovat za přesnější. Největším přínosem pro zvýšení přesnosti měření je použití totální geodetické stanice pro vyměření břehové linie. Odpadá tak pracné měření pomocí uzavřeného polygonového pořadu. Následně počítačové zpracování naměřených dat také zvyšuje přesnost i grafickou kvalitu výstupů.

Na optimalizaci postupu prací a zpracování dat získaných při měření se podíleli i diplomanti, kteří svými přístupy pomáhali zlepšovat efektivitu a kvalitu výstupů. V neposlední řadě bychom chtěli poděkovat J. Langhammerovi za cenné rady, které nás vždy posunuly o krok dále při zpracování dat v počítačových programech MapInfo a Surfer.

Literatura:

- ČAPEK, R. a kol. (1992): Geografická kartografie. SPN, Praha, 373 s.
- Databáze trigonometrických a zhušťovacích bodů. Zeměměřický úřad 2003, <http://dataz.cuzk.cz/prehledky.php>.
- Directions Magazine. The Worldwide Source for Geospatial Technology. <http://www.directionsmag.com>
- DUB, O. (1953): Limnológia. Hydrológia jezer a barín. Vydavateľstvá SAV, Bratislava, 526 s.
- JANSKÝ, B. (1996): Tradice geografických výzkumů jezer na Karlově univerzitě. Geografie–Sborník ČGS, Praha, 101, č. 1, ČGS, s. 59-63.
- JANSKÝ, B. (2003): Dynamika zanášení Mladotického jezera. Sborník z Geomorfologické konference v Nečtinech. ZČU, Plzeň, s. XX-XX.
- JANSKÝ, B., ŠOBR, M. a kol. (2003): Jezera České republiky. Monografie. PŘF UK, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 216 s.
- KUCHAR, K. (1947): Mapy šumavských jezer podle měření prof. V. Švambery. Kartografický přehled, II, č. 3-4, Praha, s. 41-42.
- MapInfo Professional: Uživatelská příručka. MapInfo Corporation, Troy, New York 1998–2004, 575 s.
- STEINER, I., ČERNÝ, J. (2003): GPS od A do Z. (2. rozšířené vydání), eNav, s.r.o., Praha, 178 s.
- Surfer: User's Guide. Golden Software, Inc., Colorado 1999–2003, 619 s.
- ŠVAMBERA, V. (1912): Výzkum šumavských jezer. Sborník ČSZ, 18, Praha, s. 250-257.

METHODS OF BATHYMETRIC MAPPING OF CZECH LAKES

The methodology of bathymetric mapping of lakes stems from outlooks used for more than one hundred years. The period when the researchers did not get along without theodolite for measuring of angles, tapes for measuring of lengths and plumbs for depth measurements is now followed by an era of measuring by sophisticated instruments – total geodetic stations and sonars. The manually operated projection of shoreline and interpolation of measured depths is superseded by computer processing of measured values by some types of software.

Since the total geodetic station for ground plan survey (shoreline) of a lake cannot be always used, a separate chapter outlines the procedure of measurement by means of orthogonal method. The described mapping methods can be used for the majority of Czech lakes of natural or anthropogenic origin. For mapping of larger water bodies (dams, flat big lakes) an adaptation of methods is necessary, while the aims will be the same – to obtain points on water level with associated coordinates x , y , z for depth points delineation. The combination of GPS and echo sounder with the possibility of data storage in selected intervals is presented as well.

Shoreline mapping is the first step. We can make it by means of orthogonal method. Thanks to the progress in manufacturing of geodetic instruments and in computer programs we can now execute ground plan measurements with the help of total geodetic stations with internal memory and MapInfo or ArcView, and Surfer computer programs. Ground plan measurement by means of this instrument give a net of points with found coordinates x , y and z .

The previously used methods of depth measuring by means of plumb or weight are comparatively exact but time-consuming. At present, echolots are available for a comfortable determination of the depth. The measurement accuracy depends on the measured depth and oscillates between 0.1 and 0.3 m. We locate the profiles across the lake from the previously determined and exactly radiated points of the shoreline, then we determine the depth along them by an echolot.

Elaboration of a bathymetric map consists of several steps. Firstly, we download the data and edit them in Excel program. We consequently plot the point field of shoreline in MapInfo program and connect the points to obtain the shoreline, on which we can make the basic morphometric measurements. The survey of cross sections and elaboration of a dotted field of points, on which we made the depth measurements, is the next step. The measured depth is then assigned to those points. We will perform the interpolator calculation in Surfer program. The final map editing according to cartographic standards is the last step.

Fig.1 – Survey of the Mladotické jezero Lake shoreline from 2003. The close polygonal order from the triangulation point 226 to the mapped locality. Numbers 1 to 11 indicate positions, from which the locality was mapped with the help of a total station.

Fig. 2 – Demonstration of detailed shoreline mapping from position No. 3. The lines coming out from point 3 represent individual surveying from the total station to the reflection prism.

Fig. 3 – Distribution of cross profiles for measuring of the lake depths.

Fig. 4 – The net of points of depth measurements along the located profiles. We know their coordinates X , Y , Z and we will use them for elaboration of a model of the lake basin in Surfer program.

(Pracoviště autorů: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: julekc@natur.cuni.cz, sobr@natur.cuni.cz .)

Do redakce došlo 29. 6. 2005