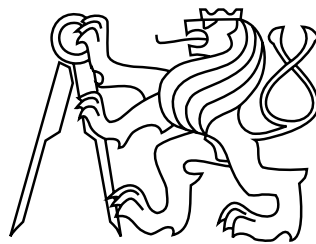


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
OBOR GEODÉZIE A KARTOGRAFIE



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ANALÝZY HYDROLOGICKÝCH DAT NA MÜLLEROVĚ
MAPĚ ČECH

ANALYSES OF HYDROLOGICAL DATA FROM MÜLLER'S MAP OF BOHEMIA

Vedoucí práce: Ing. Jiří CAJTHAML, Ph.D.
Katedra mapování a kartografie

červen 2010

Jaroslav LUČ

ZDE VLOŽIT LIST ZADÁNÍ

Z důvodu správného číslování stránek

ABSTRAKT

V této bakalářské práci jsem opravil topologii hydrologických prvků vektorového modelu Müllerovy mapy Čech a vytvořil z nich geometrickou síť. Do geodatabáze jsem přidal mosty zobrazené v mapě a provedl její transformaci. Poté jsem porovnal vodní toky a vodní plochy v Müllerově mapě se současnými daty ERM. Cílem analýz bylo nalezení a popsání významných změn ve vodstvu, vyhledání chyb v mapě a určení přesnosti zákresu hydrologických prvků. Práce probíhaly s vektorovými i rastrovými daty.

KLÍČOVÁ SLOVA

Müllerova mapa Čech, hydrologie, topologie, geometrická síť, vektorizace, transformace

ABSTRACT

In this bachelor thesis I corrected topology of hydrological elements in vectorized Müller's map of Bohemia and built a geometric network from them. I added bridges displayed in the map into the geodatabase and executed its transformation. Then I analysed streams and lakes compared to today's data of ERM. Aim of this research was to describe important hydrological differences, find errors and estimate accuracy of hydrological elements. The task was performed using both grid and vector data.

KEYWORDS

Müller's map of Bohemia, hydrology, topology, geometric network, vectorization, transformation

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Analýzy hydrologických dat na Müllerově mapě Čech“ jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Jiřímu Cajthamlovi, Ph.D. za připomínky a pomoc při zpracování této práce.

Obsah

Úvod	8
1 Müllerova mapa Čech	9
2 Topologie a geometrická síť v programu ArcGIS 9.3	10
2.1 Topologická pravidla	10
2.2 Geometrická síť	11
2.2.1 Tvorba geometrické sítě	12
2.2.2 Síťové analýzy	13
3 Práce s hydrologií v Müllerově mapě Čech	15
3.1 Kontrola přesnosti a úplnosti	15
3.2 Kontrola topologie	16
3.3 Tvorba geometrické sítě	18
3.3.1 Ukázka síťových analýz	20
3.4 Vektorizace mostů	21
3.5 Transformace	23
3.5.1 Měřítko	24
3.6 EuroRegionalMap	24
3.6.1 Geometrická síť vodních toků v ERM	25
3.7 Porovnání řek v Müllerově mapě a ERM	26
3.7.1 Transformace Müllerovy mapy Čech dle povodí	29
3.7.2 Přesnost zákresu vodních toků	32
3.8 Významné rybníky v Müllerově mapě Čech	33
3.9 Oblasti dnešních vodních nádrží	38
Závěr	41
Použité zdroje	42
Seznam symbolů, veličin a zkratek	44

Seznam příloh	45
A Výměry vybraných rybníků	46
B Obsah přiloženého CD	47

Úvod

Müllerova mapa Čech je jedním z nejvýznamnějších kartografických děl na našem území. Zachycuje krajinu na počátku 18. století a je tak zdrojem cenných informací pro geografy, kartografy, historiky i krajinné inženýry. Její zkoumání se doposud provádělo na podkladě naskenovaných rastrů. Vytvořením vektorového modelu na FSV ČVUT v roce 2009 v rámci bakalářské práce Bc. Jakuba Havlíčka se rozšířily možnosti práce s Müllerovou mapou o analýzy, jež lze s vektorovými daty provádět v geografických informačních systémech.

Vodstvo tvoří jednu z hlavních částí Müllerovy mapy. Úkolem této práce je prozkoumat řeky, potoky a rybníky, z vodních toků vytvořit geometrickou síť a porovnat ji se současnými daty. Dále najít významné změny ve tvaru a rozměru vodních ploch a určit přesnost zákresu těchto prvků.

Od doby, kdy Jan Kryštof Müller prováděl své mapování, uplynulo téměř 300 let, během nichž některé rybníky postupně zanikly a naopak byly postaveny nové vodní nádrže. Na mnoha místech docházelo také činností přírody i člověka ke změnám směru toků. Cenným zdrojem informací o vývoji vodstva na našem území jsou mapy vojenských mapování z 18. a 19. století.

Podmínkou pro korektní provádění analýz s vektorovým modelem je jeho topologická čistota. Müllerova mapa Čech i další zdrojová data budou proto podrobena kontrole dodržení základních topologických pravidel a případné chyby budou opraveny.

1 Müllerova mapa Čech

Jan Kryštof Müller se narodil v roce 1673 v Norimberku, kde studoval matematiku a kreslení. Celý svůj život zasvětil mapování zemí rakouské monarchie. V roce 1709 byla vydána jeho mapa Uher v měřítku 1 : 550 000. Jeho největším dílem jsou mapa Moravy v měřítku 1 : 180 000, na níž pracoval v letech 1708 až 1712, a především mapa Čech. Polohu vybraných míst v těchto mapách určoval Müller astronomicky, délky měřil pomocí *viatoria*, což byl měřicí kočár opatřený počítadlem otáček kol, a směry určoval buzolou.

V roce 1712 vydal císař Karel VI. patent, kterým Müllera pověřil zmapováním celého území Čech. Zároveň tím uvědomil všechny úředníky, aby mu byli při jeho práci k dispozici. Müller začal s mapováním v Bechyňském kraji a postupně vytvářel mapy jednotlivých krajů. Tyto mapy předkládal k revizi krajským hejtmanům. Kromě toho dostával také jiné úkoly, jako například vyhotovit Českosaskou hraniční mapu nebo mapu cest v Plzeňském, Prácheňském a Budějovickém kraji. Po vytvoření map všech krajů v lednu 1718 je začal spojovat v jeden celek. Výsledkem byl v roce 1720 rukopis mapy Čech rozdělené do 25 sekcí, k níž připojil ještě přehledný list. Vyhotovení mědirytiny se ujal augšpurský rytec Michael Kauffer, jejího vydání v roce 1722 se ale Müller nedožil. Zemřel během příprav mapování Slezska o rok dříve.

Müllerova mapa Čech se skládá z 25 listů o rozměrech 557 x 473 mm, její měřítko je přibližně 1 : 132 000 a je vyhotovena ve válcovém zobrazení, ekvidistantním v polednicích. V rozích je opatřena bohatou výzdobou vyrytou podle předloh českého malíře Václava Vavřince Reinerera. V levém horním rohu se nachází pohled na Karlův most a Pražský hrad a v pravém horním rohu alegorický obraz českých řek. Jejich prameny jsou znázorněny muži a ženami vylévajícími vodu ze džbánů. Legenda v levém dolním rohu obsahuje 48 mapových značek popsaných v němčině a latině. Müller podrobně rozlišil jednotlivá sídla na města bez hradeb, s hradbami, královská města, vesnice s kostelem, bez kostela, se zámek, aj. Dále v mapě a legendě najdeme např. značky pro poštu, klášter, lázně, hájovnu, mlýn a doly různých kovů. Výškopis je znázorněn kopečkovou metodou [1], [2], [3].

2 Topologie a geometrická síť v programu ArcGIS 9.3

2.1 Topologická pravidla

Topologie jako obor matematiky studuje některé vlastnosti prostoru, například souvislost, kompaktnost a spojitost. V programu ArcGIS umožňuje topologie pomocí 25 pravidel modelovat prostorové vztahy mezi prvky jedné třídy nebo mezi prvky dvou tříd v rámci jednoho datasetu. Místa, kde tato pravidla nejsou dodržena, jsou zvýrazněna jako topologické chyby [4].

Na vytvoření seznamu pravidel a jim přiřazených tříd existují 2 základní postupy. Jako uživatelsky jednodušší a přehlednější bych označil tvorbu topologie v ArcCatalogu, druhou možností je využití posloupnosti funkcí zahrnutých do skupiny *Topology* v ArcToolboxu. Základní podmínkou pro tvorbu topologie je, že všechny třídy, pro něž se topologie vytváří, musí být součástí jednoho datasetu. Pro tento dataset je potřeba v nabídce ArcCatalogu vybrat *New* a ze seznamu *Topology*. Poté se zvolí název topologie a tolerance (*Cluster Tolerance*), která má nastavenou stejnou výchozí hodnotu, jako je tolerance souřadnic v rámci datasetu. Dále je nutné vybrat třídy, pro které se budou určovat topologická pravidla, a nastavit jejich pořadí (*Coordinate Ranks*). To je vhodné při kombinaci dat různé přesnosti. Číslo 1 označuje třídy s nejvyšší přesností a vyšší čísla náležejí třídám s nižší přesností. Souřadnice prvků méně přesných tříd se v případě, že se budou lišit o hodnotu menší než je tolerance, změní na souřadnice prvků z přesnějších tříd. Poté už zbývá jen přidat jednotlivá pravidla. Vybere se 1 nebo 2 třídy prvků a z nabídky, která zohledňuje, jedná-li se o bodovou, liniovou nebo polygonovou třídu, se zvolí pravidlo. Po vytvoření topologie se objeví dotaz na její zplatnění (*Validate Topology*). To lze provést buď hned nebo až v ArcMapu.

Po otevření příslušného datasetu v ArcMapu se v případě zplatněné topologie objeví v okně s jednotlivými prvky i zvýrazněná místa s topologickými chybami. Na jejich opravu je nutné zapnout editační režim a otevřít panel *Topology*. Seznam chyb dle jednotlivých pravidel je zobrazen v tabulce *Error Inspector*. K opravě lze využít

jak funkce z panelu *Topology*, tak i běžné editační nástroje. Nutné je mít aktivní přichytávání (*Snapping*) na lomové body (*vertex*).

2.2 Geometrická síť

Říční síť, elektrické vedení, plynovody, kanalizace atd. To vše jsou běžné sítě reálného světa, které lze v ArcGISu modelovat jako geometrické sítě. Skládají se z hran a uzlů, které jsou vzájemně spojeny a mají určenou polohu. Zdrojovými daty pro její vytvoření jsou jedna nebo více tříd prvků v rámci datasetu. Geometrická síť pak uchovává informaci o jejich spojitosti.

Hrany (*edges*) jsou tvořeny liniovými prvky a uzly (*junctions*) bodovými prvky, které spojují 2 a více hran. Lze definovat 2 typy hran: jednoduché a komplexní. Jednoduché hrany (*simple edges*) jsou spojeny právě s dvěma uzly, například úsek vodního toku mezi nejbližšími soutoky. Komplexní hrany (*complex edges*) mohou mít navíc i uzly po celé své délce. Tvoří-li například vodní tok od pramene až k ústí jednu linii, musí být síť vybudována z komplexních hran [5].

V ideálním případě jsou pro vyhotovení sítě k dispozici jak liniové tak bodové třídy prvků. Síť lze ale postavit i při absenci bodových tříd reprezentujících uzly. ArcGIS při vytváření sítě vždy automaticky založí novou třídu uzlů a pojmenuje ji dle názvu sítě (*nazevsite_Junctions*). Do ní vloží uzly na koncové body všech hran, na kterých neexistuje žádný uzel ve zdrojových datech. Tato třída tedy může kompletně pokrýt všechny uzlové body sítě nebo jen doplní vstupní bodovou třídu uzlů, pokud v ní některé uzly chybí.

Většina sítí má jasně určený směr toku (například elektřina směřuje od elektráren až do domácností nebo voda v říční síti se pohybuje od pramene k ústí). V geometrické síti se směr toku (*Flow Direction*) vypočte ze „zdrojů a ústí“ (*sources and sinks*). Všem uzlům, které se v síti vyskytují lze nastavit, zda prvky této třídy obsahují *sources* nebo *sinks*. Těmto uzlům vznikne nový atribut *Ancillary-Role*, který může nabývat 3 hodnot: *source*, *sink* nebo *none*. Podle nastavení tohoto atributu jednotlivým uzlům při editaci je určen směr toku v síti.

Síť může být dále opatřena vahami, které reprezentují náklady na tok po prvku

sítě. To se nejčastěji využívá u inženýrských sítí. Váhy lze přiřadit všem prvkům sítě a jsou určeny jeho libovolným atributem. Dalším užitečným parametrem sítě je atribut *Enabled*, který mají všechny hrany. Nabývá 2 hodnot: *true* nebo *false*. Hrana s hodnotou *false* se chová jako neprostupná překážka. Výhodou geometrické sítě je, že při editaci v ArcMapu jsou stále (*on the fly*) udržována vzájemná spojení jejích prvků. Není tedy potřeba prvky po každém posunu znovu spojovat. Do již hotové sítě lze také přidávat nové prvky, pokud jsou vytvořeny jako prvky tříd zahrnutých do sítě. Když vytvoříme novou linii, je tato linie označena jako hrana sítě a na její koncové body jsou automaticky umístěny uzly. V tu chvíli ArcGIS analyzuje postupně všechny prvky sítě a prostorovým dotazem zjišťuje, jestli je nový prvek shodný s prvkem sítě nebo jeho lomovým bodem. Vzdálenost, do níž jsou prvky považovány za shodné, se označuje jako geometrická koincidence (*geometric coincidence*). Je-li tato shoda nalezena, nový prvek se připojí k síti [6].

2.2.1 Tvorba geometrické sítě

Postup vytvoření sítě v ArcCatalogu je poměrně intuitivní a skládá se z několika kroků

- v rámci datasetu se vybere *New Geometric Network*
- zvolí se, má-li se vytvořit prázdná síť nebo síť z existujících prvků
- je-li síť tvořena z existujících prvků vyberou se třídy, které do sítě vstupují
- vyplní se název sítě
- nastaví se, má-li síť zachovat existující hodnoty atributu *Enabled* (vhodné pokud se vytváří síť z prvků, které už v nějaké jiné síti vystupují)
- definuje se, zda liniové třídy tvoří jednoduché nebo komplexní hrany
- určí se tolerance, v rámci které mohou být prvky posunuty, aby bylo zajištěno jejich přesné spojení (*Snap tolerance*)
- vybere se třída, která obsahuje sources nebo sinks

- nakonec lze k síti přiřadit váhy

Editace geometrické sítě

Nástroje na práci s geometrickou sítí obsahuje panel *Geometric Network Editing*. Mezi tyto nástroje patří spojení a rozpojení prvků, oprava spojitosti, ověření spojitosti a také výpis prvků, které způsobují chyby ve stavbě sítě.

2.2.2 Síťové analýzy

Nad hotovou geometrickou sítí můžeme provádět mnoho síťových analýz zahrnutých do panelu *Utility Network Analyst*. Na místo, ke kterému mají být vztaheny se umístí vlajka (*Flag*), z nabídky 9 analýz se zvolí úkol, který se má provést (*Trace Task*), a výsledek se vykreslí příkazem *Solve*. Při těchto úlohách můžou být vlajky umístěny současně na více místech a jejich výsledky se pak také zobrazí dohromady.

Seznam analýz

- Find Connected a Find Disconnected
 - vyhledá prvky, které jsou nebo nejsou s daným bodem spojeny
- Find Loops
 - najde smyčky, jež umožňují více různých cest v síti
- Find Path Upstream
 - určí cestu proti směru toku (cestu, která vede od zadaného bodu k prameni přes nejmenší počet uzlů)
- Trace Downstream a Trace Upstream
 - vykreslí všechny prvky, které se nachází po směru nebo proti směru toku
- Find Upstream Accumulation
 - vykreslí všechny prvky proti směru toku a navíc pracuje s vahami v síti, dle nichž vypočte jejich celkovou hodnotu

Zbylé 2 funkce řeší vzájemný vztah mezi vlajkami

- Find Path
 - zobrazí cestu mezi dvěma body (v případě, že se na cestě vyskytnou smyčky, je výsledkem jen 1 z možných cest)
- Find Common Ancestors
 - najde společné prvky, které leží proti proudu od zadaných bodů

3 Práce s hydrologií v Müllerově mapě Čech

Vektorizace Müllerovy mapy Čech byla řešena Bc. Jakubem Havlíčkem [2]. Jelikož tato úloha byla časově velmi náročná, podíleli se na ní také jednotliví studenti FSV ČVUT v rámci předmětu Topografická a tematická kartografie. Každý student vektorizoval určenou část mapového listu a jejich výsledky byly poté spojeny do jedné geodatabáze. Přesnost a úplnost takového úkolu je závislá na důslednosti každého jedince. Při porovnání vektorové kresby s rastry jsem si brzy všimnul rozdílů mezi jednotlivými oblastmi v mapě. Zatímco v některých částech linie přesně kopírují vodní tok v rastrové mapě, jinde je kresba značně generalizovaná.

Geodatabáze je rozdělena do šesti tříd: *obce*, *obce_polygon*, *reky_potoky*, *vodni_plochy*, *cesty* a *spravni_hranice*. Analýzy jsem prováděl s dvěma třídami reprezentujícími hydrologii (*reky_potoky* a *vodni_plochy*), ale v průběhu práce jsem postupně využil i zbývající třídy. Geodatabáze nemá určený souřadnicový systém (*Unknown*), její souřadnice odpovídají kartometrickým souřadnicím s počátkem v levém dolním rohu mapového listu č. 21 a rozměru mapových listů 557 x 473 mm. Na tento rozměr byly před vektorizací všechny rastry transformovány.

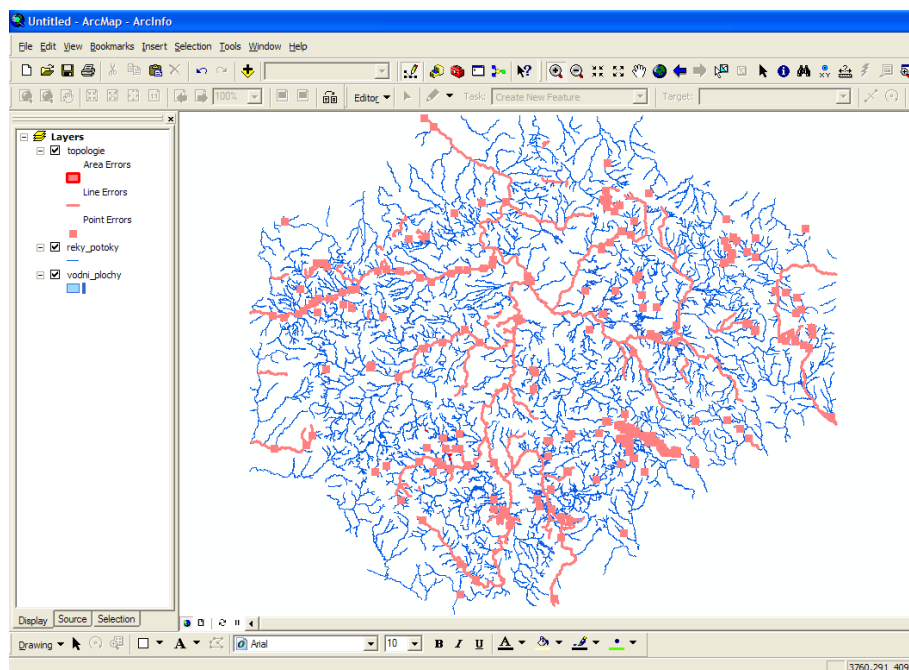
3.1 Kontrola přesnosti a úplnosti

Vytvořil jsem novou geodatabázi *topo_1.mdb* s datasetem *hydro* a do něj importoval třídy *reky_potoky* a *vodni_plochy* z převzatých dat *Muller_Cechy.gdb*. V programu ArcMap jsem otevřel tyto třídy společně s převzatými rastry mapových listů a zvolil jsem dostatečné přiblížení pro vizuální kontrolu. Postupně jsem procházel mapové listy a hledal místa, kde se vektorová data odchylojí od rastry. Mezi mapovými listy byly některé, kde jsem nic neopravil, ale na většině z nich se vyskytla místa, na nichž byly řeky nebo rybníky příliš generalizovány. Tyto prvky jsem opravil posunem nebo vložením nových lomových bodů. Zároveň jsem se snažil také najít vodní toky a plochy, které nebyly zvektorizovány. Nakonec jsem takto doplnil 47 vodních toků a 40 vodních ploch. Samozřejmě ani tato data nelze s jistotou prohlásit za kompletní a přesný vektorový model Müllerovy mapy.

3.2 Kontrola topologie

Obě třídy prvků jsem zahrnul do nově vytvořené topologie. Při její tvorbě jsem nastavil toleranci na 0,001. Ze seznamu jsem vybral 5 pravidel, kterými jsem zkontroloval čistotu dat. Pro linie platí 4 pravidla: nesmí mít pseudonódy, nesmí se protínat, nesmí protínat samy sebe a musí být složeny z jediné části. 5. pravidlo definuje, že plochy se nesmí překrývat. Do seznamu nebylo zahrnuto pravidlo o volných koncích linií, které vyhledá nedotažené linie v místě soutoků, zároveň ale detekuje každý počátek vodního toku jako chybu. Rozhodl jsem se, že tyto chyby opravím až při tvorbě geometrické sítě, kdy lze zvýraznit prvky, které nejsou k síti připojeny (*Disconnected Features*). Při vytváření topologie se automaticky na všechny zahrnuté třídy navíc aplikuje pravidlo, že prvek musí být větší než je zvolená tolerance.

Po zplnění topologických pravidel bylo v datech nalezeno celkem 774 chyb.



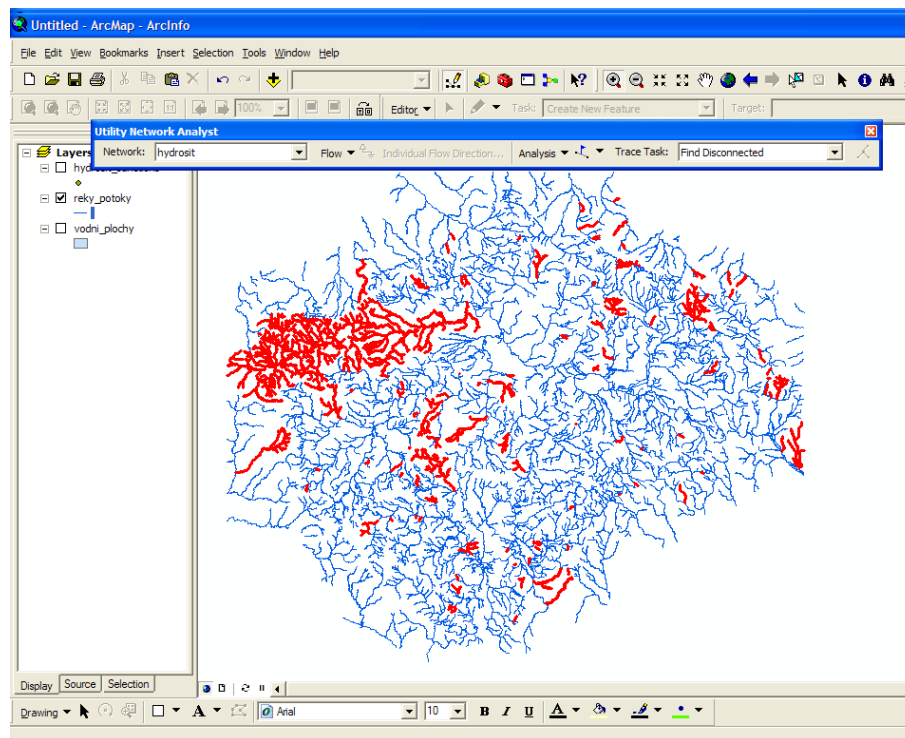
Obr. 3.1: Topologické chyby ve vektorovém modelu Müllerovy mapy Čech

- Nesmí mít pseudonódy (*Must not have pseudonodes*)
 - konec linie se dotýká konce pouze jedné další linie
 - 34 chyb (z toho 2 výjimky)

- opraveny funkcí *Merge To Largest*
- Nesmí protínat samy sebe (*Must not self-intersect*)
 - protínající se linie tvoří 1 prvek
 - 8 chyb
 - linie jsem rozložil na jednotlivé prvky funkcí *Explode Multi-part Feature* z panelu *Advanced Editing*
- Nesmí se protínat (*Must not intersect*)
 - vodní toky se protínají nebo překrývají
 - 496 chyb
 - některé chyby způsobeny dvakrát nakresleným vodním tokem (jejich vzájemné křížení způsobí mnoho chyb na jednom místě)
 - opraveny přichycením koncového bodu na místo soutoku (*Snapping*) nebo smazáním duplicitních toků
- Musí být jedinou částí (*Must be single part*)
 - linie je složena z více částí (několik vodních toků tvoří 1 prvek)
 - 228 chyb (každá část linie je označena jako 1 chyba), tyto části tvoří 53 složených prvků (*Multi-part Feature*)
 - oprava funkcí *Explode Multi-part Feature*
- Nesmí se překrývat – vodní plochy (*Must not overlap*)
 - duplicitní zákres rybníku
 - 7 chyb
 - smazání duplicit
- Musí být větší než tolerance (*Must be larger than cluster tolerance*)
 - 1 chyba (příliš krátká linie)

3.3 Tvorba geometrické sítě

Měl jsem k dispozici téměř opravená data a před sebou úkol vytvořit geometrickou síť z vodních toků na Müllerově mapě Čech. Nejprve jsem sestavil pomocnou síť, abych našel linie, které nepřesnou vektorizací nejsou spojeny s ostatními. Skládá se z komplexních hran, protože vodní toky nejsou mezi soutoky rozděleny na jednotlivé prvky, nevstupují do ní žádné uzly a *Snap tolerance* jsem zvolil 0,001 (stejná jako tolerance souřadnic). Na vyhotovenou síť jsem v ArcMapu použil nástroj *Find Disconnected*. Jelikož vodní toky na území České republiky ani na území zobrazeném na Müllerově mapě netvoří jednu říční síť, musel jsem vlajkami označit všechny řeky po okrajích mapy, které mají své vlastní sítě. Nalezené prvky jsou na obrázku 3.2. Celkem jsem do sítě připojil 120 hran, většinou se jednalo o nepatrné chyby ze špatného přichytávání na body. Byla-li mezera mezi liniemi větší, opravoval jsem geometrii dle rastrového podkladu.

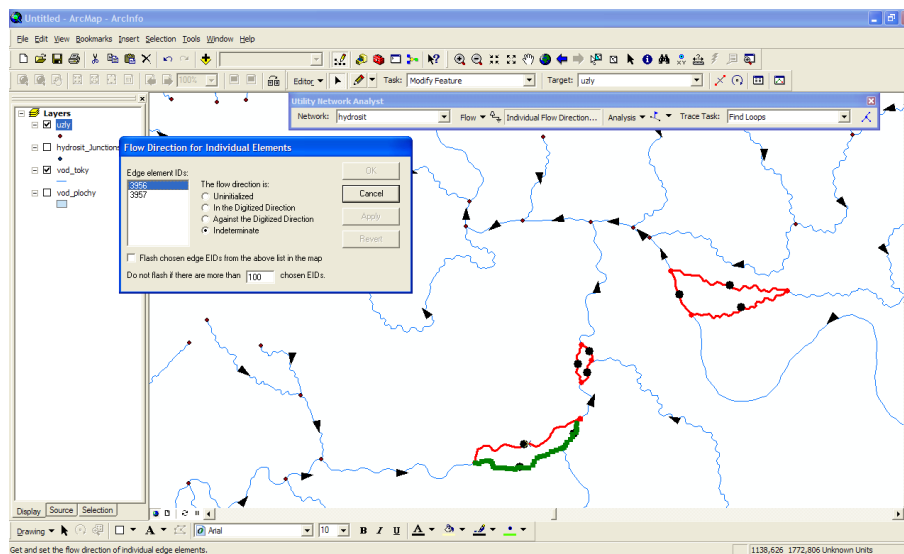


Obr. 3.2: Nespojené prvky ve vektorovém modelu Müllerovy mapy Čech

Konečně jsem mohl vytvořit kompletní geometrickou síť. Vstupními daty byly vodní toky z pomocné sítě (znovu zkontrolovány topologickými pravidly) a třída

uzlů, která se automaticky vytvořila v pomocné síti. Její prvky jsem označil jako *sources or sinks*. Zbývalo určit směr toku v síti, což je operace, která se v prostředí ArcMapu skládá ze 3 kroků: nalezení míst odtoku, výpočet směru toku a vyřešení smyček, v nichž nelze směr automaticky určit.

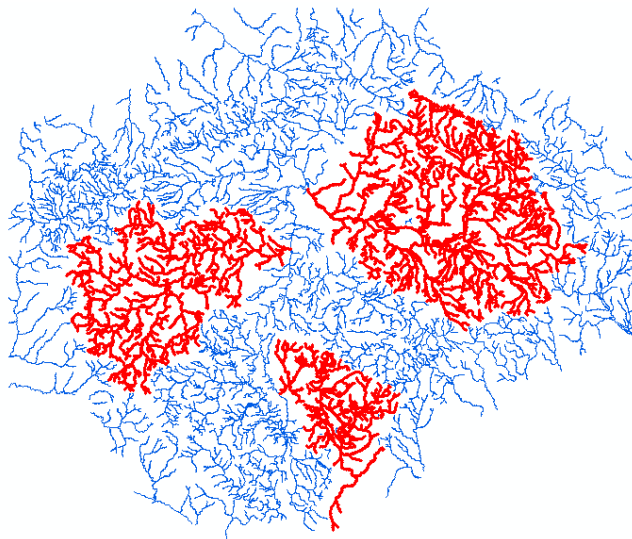
- v místech odtoku jsem u koncového uzlu nastavil atribut *Ancillary Role* na *Sink*
- spustil jsem výpočet směru toku funkcí *Set Flow Direction*
- zobrazil jsem směr toku (*Display Arrows*) a vyhledal místa, kde směr není určen
 - směr není definován ve smyčkách sítě (ty lze zvýraznit funkcí *Find Loops*)
 - aby správně probíhaly analýzy v geometrické síti, musí být směr určen na všech hranách
 - k ručnímu nastavení směru jednotlivým hranám jsem použil nástroj *Individual Flow Direction* z internetových stránek ESRI Developer Network [7]. Pomocí něj lze určit směr toku každé hraně, a v případě komplexních hran i každému jejímu úseku.



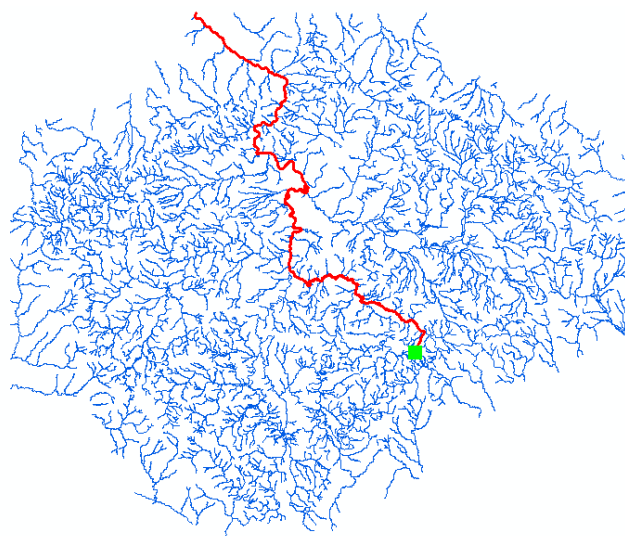
Obr. 3.3: Nastavení směru toku v síti

3.3.1 Ukázka síťových analýz

Pro správné zobrazení výsledků analýz je potřeba nastavit vykreslování jednotlivých prvků komplexních hran (*Draw individual elements of complex edges*). V říční síti jsou zajímavé především funkce *Trace Downstream*, která vykreslí směr odtoku z daného bodu, a *Trace Upstream*, pomocí níž lze zobrazit při umístění vlajky těsně nad soutok celé povodí vybraného toku.



Obr. 3.4: Zobrazení povodí Lužnice, Berounky a Horního Labe



Obr. 3.5: Odtok vody ze sítě

Dále jsem vyhledal potoky, které nejsou spojeny s okolní sítí. Na mapě se nachází 6 takových míst. Jedna samostatná síť je na hranici mapových listů č. 9 a 14 u obce Běrunice. Zbýlých 5 objektů najdeme na mapových listech 18 a 23 v okolí Třeboňska.



Obr. 3.6: Třeboňsko se zvýrazněnými vodními toky

Tato místa jsem vyhledal na mapách I.vojenského mapování, které vznikly v letech 1763 až 1785, tedy přibližně 50 let po Müllerově mapování. Nenašel jsem zde pouze potok Braunaubach (JV část mapového výřezu obr. 3.6), neboť ten odtéká do sousedního Rakouska. Území mimo Čech je na mapě vyobrazeno s menší podrobností a tím lze vysvětlit, proč potok za hranicemi *mizí*. Ve všech ostatních případech jsem našel v mapách I. voj. mapování napojení těchto toků na okolní říční síť. Důvodem chybějícího zákresu v mapě by mohl být malý význam některých úseků, případně jejich malá vodnatost v době Müllerova mapování anebo náhodná chyba při vyhotovení mapových listů (některé toky totiž končí právě na okraji listu).

3.4 Vektorizace mostů

Významnými prvky v Müllerově mapě Čech jsou také mosty. Ty nebyly do původního vektorového modelu [2] zahrnuty. Založil jsem proto novou bodovou třídu prvků *mosty* a provedl vektorizaci všech mostů na jednotlivých mapových listech.

Pro popis mostů jsem vytvořil 3 atributy typu *text*. Pole *řeka* označuje, přes kterou řeku most vede, *obec* nese název obce, u níž se most nachází. Atribut *cesta* je omezen doménou na hodnoty *Ano* nebo *Ne* a určuje, zda most leží na zemské cestě.

Umístění mostů na řeky jsem prováděl tak, že jsem vložil nový lomový bod na řeku, ten jsem přesunul na pozici mostu a na tento bod jsem přichytil most. V místech, kde řeku přechází cesta, jsem tuto cestu také opatřil lomovým bodem umístěným na mostě. Topologii nově vytvořených prvků jsem zkontroloval prostorovými dotazy. Všechny mosty se nachází (*are within*) na řekách a mosty s hodnotou atributu *cesta Ano* leží také na cestách. Třída *mosty* obsahuje 470 prvků, z nichž 112 se nachází na zobrazených cestách. Pořadí řek s největším počtem mostů je uvedeno v tabulce 3.1.

řeka	počet mostů
Labe	27
Vltava	15
Ohře	15
Sázava	14
Jizera	14
Úhlava	13
Otava	11
Lužnice	10
Cidlina	9
Doubrava	9
Mže	9
Bílina	8
Chrudimka	8
Metuje	8
Úslava	8
Radbůza	7

Tab. 3.1: Počet mostů na vybraných řekách (jen území Čech)

3.5 Transformace

K transformaci vektorového modelu jsem využil transformační klíč od Bc. Jakuba Havlíčka [2]. Tento klíč vznikl tak, že byl stažen z internetových stránek Českého statistického úřadu polygonový shapefile obcí v ČR obsahující v atributové tabulce souřadnice obce v S-JTSK. Dle názvu obce pak byly atributové tabulky obcí v Müllerově mapě a v datech ČSÚ propojeny. Po načtení transformačního klíče jsem zkontroloval odchylky na jednotlivých bodech a některé body vyloučil. Jednalo se o obce, které měly přiřazeny souřadnice jiné obce se stejným názvem, nebo o obce, k jejichž starému názvu v němčině na Müllerově mapě byl přidán nový název jiné obce. Počet identických bodů jsem zredukoval na 3878.

Typ transformace jsem zvolil podobnostní. Chtěl jsem totiž data dále transformovat v menších oblastech, proto jsem vybral transformaci, která nemění tvar. Střední polohová chyba transformace je 2418 metrů (při afinní transformaci by byla 2340 m). Velikost střední chyby je ovlivněna tím, že výběr identických bodů není selektivní. Větší odchylky jsou na bodech mimo území Čech (Morava) a v hůře dostupných oblastech (pohraniční hory).

Při vytváření nových tříd v programu ArcGIS se automaticky nastaví doména omezující rozsah souřadnic. Má-li třída určený souřadnicový systém, pak je doména určena z definice tohoto systému. Pokud ale souřadnicový systém není znám, výpočtem se domény dle maximálních souřadnic prvků v jednotlivých třídách. Protože souřadnice S-JTSK byly mimo vymezenou oblast, nešlo transformaci geodatabáze provést. Problém jsem vyřešil tak, že jsem třídy exportoval do shapefilů, které nemají omezený rozsah souřadnic, a ty jsem transformoval do S-JTSK. Poté jsem vytvořil novou geodatabázi *Muller_JTSK.mdb* (s definovaným souřadnicovým systémem S-JTSK) a do ní importoval shapefilly jako třídy prvků. Výhodou uložení dat v geodatabázi je pro tuto úlohu možnost tvorby geometrické sítě a topologie a automatický výpočet délek a výměr prvků.

Komplikací tohoto řešení byla ztráta informací o geometrické síti. Síť jsem tedy musel vytvořit znovu. Tentokrát jsem do ní navíc přidal bodovou třídu mostů a *Snap tolerance* zvýšil na 0,1 (z důvodu použití skutečných souřadnic v metrech). Při určo-

vání směru toku jsem využil toho, že název atributu *AncillaryRole* se při exportu do shapefilu změnil na desetipísmenný *AncillaryR* a v něm zůstala zachována informace o typu uzlu (textový řetězec *source*, *sink* nebo *none* byl pouze převeden na číselné hodnoty 0, 1 a 2). V nově vytvořeném atributu *AncillaryRole* jsem tedy zvolil typ uzlu (viz obr. 3.7) a poté stejným způsobem jako při tvorbě původní sítě nastavil směr toku v síti a určil směr toku v nejednoznačně definovaných oblastech.

OBJECTID	Shape	Enabled	AncillaryR	AncillaryRole
79	Point	True	0	None
80	Point	True	0	None
81	Point	True	2	Sink
82	Point	True	0	None
83	Point	True	0	None
84	Point	True	0	None
85	Point	True	2	Sink
86	Point	True	0	None
87	Point	True	2	Sink
88	Point	True	0	None
89	Point	True	0	None
90	Point	True	0	None
91	Point	True	0	None

Obr. 3.7: Nastavení atributu *AncillaryRole* dle původních hodnot

3.5.1 Měřítko

Jako vedlejší výsledek transformace jsem z poměru délky prvků před a po transformaci určil měřítko Müllerovy mapy 1 : 131 587. Toto číslo vychází z měřítkového koeficientu $q = 131,587$ provedené podobnostní transformace. Hodnota je velmi blízká dosud používané 1 : 132 000 po zaokrouhlení [3].

3.6 EuroRegionalMap

Úkolem práce bylo porovnat vektorový model, konkrétně jeho hydrologickou složku se současnými daty. K tomuto účelu jsem od vedoucího bakalářské práce obdržel data EuroRegionalMap (ERM) z území České republiky.

Jedná se o bežešvou topografickou geodatabázi v měřítku 1 : 250 000 pokrývající 36 evropských zemí, jejímž tvůrcem je organizace Eurographics. Ta sdružuje 56 evropských národních geografických a zeměměřických organizací z 45 zemí. Projekt ERM začal v roce 2001, kdy 7 států zkoumalo proveditelnost vytvoření souvislé databáze na základě svých národních příspěvků. Výsledkem byla první verze ERM

v1.0 (2004). Následovalo rozšíření do ostatních evropských zemí (2004 až 2007), jehož výsledkem jsou verze 2.0 a 2.2. V současné době je již hotova verze 3.0 (2009), jejíž cílem je aktualizace, zvýšení kvality dat a zlepšení úrovně harmonizace. Geodatabáze, kterou mám k dispozici je verze 2.2 (prosinec 2007). Souřadnice jsou uloženy ve stupních zeměpisné šířky a délky, referenční systém je ETRS 89. Obsah ERM je rozdělen do 7 témat: administrativní hranice, vodstvo, doprava, sídla, vegetace a povrch, geografická jména, různé objekty. Každé téma je zastoupeno jednou nebo více třídami, celkem tvoří geodatabázi 41 tříd [8].

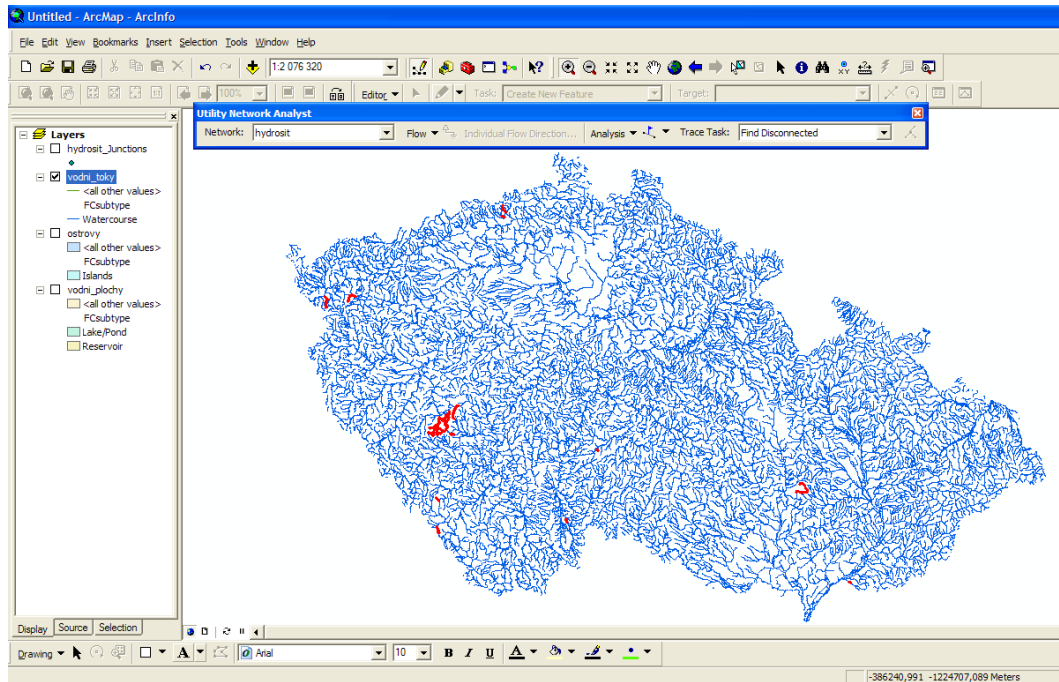
Na území ČR byla ERM naplněna v letech 2005 až 2007 daty ZABAGED (ČÚZK) a DMÚ 200 (Digitální model území vzniklý vektorizací vojenských topografických map v měřítku 1 : 200 000, VGHMÚř). Zkušenosti získané při naplňování a aktualizaci ERM využil Zeměměřický úřad k vybudování národní databáze v měřítku 1 : 200 000 (Data200). Aktualizace ERM z území České republiky nyní vychází z aktualizací databáze Data200 [9], [10].

3.6.1 Geometrická síť vodních toků v ERM

Z databáze jsem vybral hlavní třídy reprezentující vodstvo: vodní toky (*WatercrsL*), vodní plochy (*LakeresA*) a ostrovy (*IslandsA*) a zkontroloval jejich topologii. Použil jsem stejná pravidla jako pro Müllerovu mapu v kapitole 3.3 s výjimkou pravidla o pseudonódech. Jeden vodní tok je v ERM totiž tvořen více prvky, jejichž délka je někdy i kratší než vzdálenost sousedních uzlů. Nenalezl jsem žádné topologické chyby. Poté jsem vytvořil pomocnou geometrickou síť a funkcí *Find Disconnected* vyhledal nespojené prvky (stejně jako v případě Müllerovy mapy jsem označil pro korektnost analýzy i všechny krátké úseky toků kolem hranic ČR). Výsledkem bylo nalezení 14 vodních toků, které nejsou spojeny s okolní sítí (obr. 3.8).

Jelikož mým úkolem nebylo zkoumat správnost ERM, opravil jsem pouze ta místa, kde byly zjevné topologické chyby. Jedná se o 6 linií nedotažených k soutokům a o 2 linie přerušené uvnitř vodní plochy.

Nově vzniklou třídu uzlů jsem použil k vyhotovení geometrické sítě *sit_ERM.mdb* a poté jsem nastavil směr toku v síti (viz kapitola 3.3). Tento úkol byl v ERM



Obr. 3.8: Použití funkce *Find Disconnected* na vodní toky v ERM

náročnější než na Müllerově mapě, vyskytuje se zde totiž více oblastí, kde se směr toku musí určit ručně.

3.7 Porovnání řek v Müllerově mapě a ERM

K porovnání obou říčních sítí jsem potřeboval, aby obsahovaly stejné území a každý vodní tok byl tvořen jedním prvkem. Na Müllerově mapě jsou znázorněny Čechy a příhraniční oblasti, zatímco data ERM mám k dispozici z území České republiky. Provedl jsem proto některé úpravy. V databázi *Muller_JTSK.mdb* jsem z třídy *spravni_hranice* vytvořil funkcí *Feature To Polygon* novou třídu *hranice* obsahující 1 polygon, který odpovídá hranicím Čech tak, jak jsou na Müllerově mapě zakresleny. V oblasti Krušných hor část státní hranice chybí, ale nebyl problém ji doplnit, protože zde kopíruje vodní tok. Tímto polygonem jsem ořízl vodní toky na Müllerově mapě.

Data ERM jsem exportoval do souřadnicového systému S-JTSK. Při tomto exportu však nebyla zachována geometrická síť, proto síťové analýzy s ERM provádím s původními daty (pouze s nastavením S-JTSK v pracovním okně ArcGISu). Vodní

toky jsem spojil dle jejich názvů (atribut NAMA1) funkcí *Dissolve*. V nastavení funkce nesmí být zaškrtnuto *Create Multi-part Feature*, aby nebyly spojeny i řeky či potoky, které mají stejný název, ale tvoří jednu linii. Tyto vodní toky jsem poté také ořezal stejným polygonem jako Müllerovu mapu.

STATISTIKA	Müllerova mapa	ERM
počet toků	2194	4548
celková délka [km]	18 256	28 052
průměrná délka [km]	8,32	6,17

Tab. 3.2: Porovnání vodních toků (jen území Čech)

Z tabulky si lze udělat jednoduchý přehled o vztahu podrobnosti map a měřítka mapování. Na Müllerově mapě v měřítku 1 : 132 000 najdeme přibližně polovinu toků, které obsahuje ERM. Podrobnost ERM na území Čech odpovídá měřítku 1 : 200 000, ale oproti Müllerově mapě obsahuje mnohem více menších potoků. Na druhou stranu mluvit o měřítku digitálních dat je poněkud zavádějící, obzvlášť v případě, že podkladem pro vznik ERM byl kromě DMÚ 200 také ZABAGED, který má přesnost na úrovni mapy 1 : 10 000.

Porovnal jsem nejdelší řeky v obou mapách. Vybraných 40 řek má na Müllerově mapě celkovou délku 3877,9 km a v ERM 4016,7 km. To znamená, že řeky v ERM jsou průměrně o 3,5% delší (do výpočtu nebyla zahrnuta Lužnice, neboť hranice na Müllerově mapě v její pramenné oblasti neodpovídá současnému stavu). Největší relativní přírůstek délky toku v ERM mají řeky Malše, Střela, Mže, Teplá, Sázava a Ohře. Rozdíl je způsoben menší geometrickou generalizací ERM (nejvíce patrné na Střele a Malši) a v některých případech také polohou pramene, který je umístěn v Müllerově mapě níž po proudu (Vltava, Bílina, Mrlina) anebo je jako pramen v mapě znázorněn méně významný přítok (Mže). Naopak kratší tok v ERM mají především Loučná, Výrovka a Volyňka, které jsou v Müllerově mapě klikatější. Loučná je kratší také proto, že její soutok s Labem se dnes nachází u obce Počaply, zatímco na Müllerově mapě řeka pokračuje ještě asi 4 km dále do Pardubic. Z tabulky 3.3 ovšem není patrné výrazné zkrácení Labe v důsledku regulací jeho

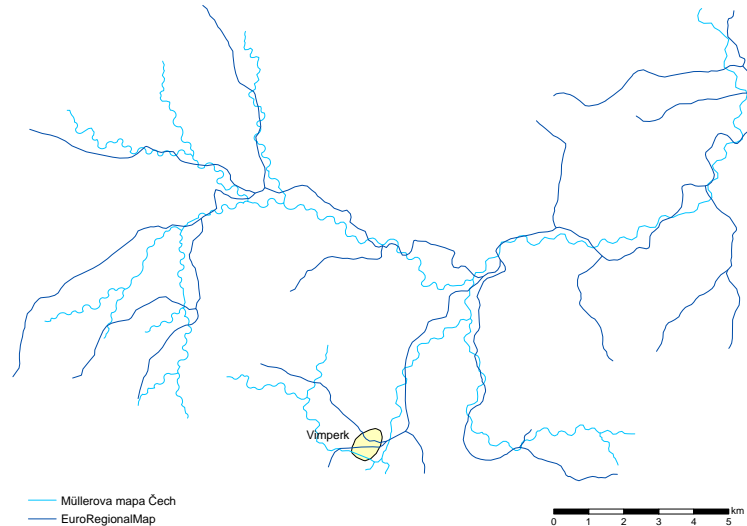
název řeky	délka [km]			název řeky	délka [km]		
	Müller	ERM	rozdíl		Müller	ERM	rozdíl
Vltava	410,7	413,2	2,5	Doubrava	76,7	80,3	3,6
Labe	376,6	363,0	-13,6	Úpa	74,1	75,7	1,6
Ohře	224,3	246,1	21,8	Bílina	73,0	80,0	7,0
Sázava	186,4	214,4	28,0	Metuje	70,3	72,9	2,6
Jizera	147,2	158,9	11,7	Výrovka	69,9	58,0	-11,9
Berounka	120,8	138,4	17,6	Bystřice	63,5	61,3	-2,2
Otava	110,8	109,1	-1,7	Lomnice	58,4	55,2	-3,2
Lužnice	104,5	137,6	33,1	Loděnice	56,2	61,3	5,1
Chrudimka	100,6	98,3	-2,3	Blanice	52,8	58,9	6,1
Radbůza	99,8	106,9	7,1	Skalice	52,8	47,1	-5,7
Tichá Orlice	95,4	92,8	-2,6	Teplá	52,2	64,1	11,9
Úhlava	94,2	100,9	6,7	Rakovnický p.	51,7	46,5	-5,2
Divoká Orlice	93,4	91,8	-1,6	Nežárka	51,2	53,0	1,8
Želivka	88,0	92,6	4,6	Volyňka	50,6	43,6	-7,0
Cidlina	86,3	84,8	-1,5	Liboc	50,6	45,0	-5,6
Blanice	85,7	87,6	1,9	Litavka	50,4	53,1	2,7
Ploučnice	83,7	87,6	3,9	Blšanka	49,7	49,4	-0,3
Mže	83,6	102,0	18,4	Mrlina	48,3	48,2	-0,1
Loučná	82,0	72,8	-9,2	Chomutovka	47,7	49,3	1,6
Úslava	81,5	90,6	9,1	Malše	46,7	63,4	16,7
Střela	80,3	98,6	18,3				

Tab. 3.3: Nejdelsí řeky na Müllerově mapě a ERM (jen území Čech)

toku. V roce 1848 měřilo Labe 422,9 km, což je téměř o 50 km více než je délka v Müllerově mapě, kde vzhledem k měřítku není reálné, aby byly zachyceny všechny zákruty toku tak, jak jsou vidět v podrobnějších mapách [11].

Většina velkých řek má na Müllerově mapě kratší délku v důsledku generalizace. Rozdíly ovšem nejsou nijak velké a jsou částečně způsobeny také nepatrným zkrá-

cením linií při vektorizaci. Opačný poměr délek ale mají menší potoky a horní toky řek, které jsou znázorněny s větší klikatostí než ve skutečnosti. Nápadně pravidelné střídání oblouků volil Müller jako prostředek ke zvýraznění potoků. Nejvíce patrné je to v horských oblastech, kde jsou toky v ERM mnohem rovnější.



Obr. 3.9: Porovnání klikatosti toků v povodí Volyňky

Pro vybrané potoky jsem spočítal index klikatosti (*Sinuosity index*) $SI = \frac{l_p}{d_{PU}}$, kde l_p je délka toku a d_{PU} je délka spojnice pramene a ústí. V hydrologii používaný index klikatosti obsahuje ve jmenovateli vzorce délku údolí mezi dvěma body na toku. Na její určení by ovšem bylo potřeba mít digitální model terénu. K mému výpočtu postačí zjednodušení vzorce, kde vzdálenost počátku a konce snadno odměřím v programu ArcGIS a k omezení nepřesností budu vybírat toky, které nemají významné změny směru [12].

Z 11 potoků v tabulce 3.4 je prvních 7 ze Žatecka a Slánska, poslední 4 jsou přítoky Volyňky v okolí Vimperka (viz obr. 3.9). Průměrné hodnoty indexu klikatosti potoků jsou 1,38 v Müllerově mapě a 1,18 v ERM.

3.7.1 Transformace Müllerovy mapy Čech dle povodí

Během zkoumání obou říčních sítí a jejich vzájemných odlehlostí jsem zjistil, že na poměrně velkých územích se vyskytují posuny ve stejném směru. Vyzkoušel

název toku	délka toku [km]		nejkratší vzdálenost [km]		index klikatosti	
	Müller	ERM	Müller	ERM	Müller	ERM
Smolnický p.	27,7	22,8	19,2	18,8	1,44	1,21
Bakovský p.	45,3	43,8	36,1	39,1	1,25	1,12
Vranský p.	20,6	21,0	17,2	19,9	1,20	1,05
Zlonický p.	22,8	21,8	19,0	20,6	1,20	1,06
Červený p.	27,4	23,6	21,5	21,2	1,28	1,11
Dolánecký p.	22,4	22,7	14,9	16,3	1,51	1,40
Leska	20,9	20,3	15,9	16,1	1,31	1,26
Peklov	19,0	17,4	12,5	14,0	1,52	1,24
Spůlka	19,8	19,0	12,8	13,7	1,55	1,38
Horský p.	9,9	7,3	6,3	6,7	1,58	1,08
Mladíkovský p.	7,7	5,9	5,7	5,5	1,36	1,07

Tab. 3.4: Porovnání klikatosti potoků na Müllerově mapě a ERM

jsem tedy lokálně transformovat říční síť Müllerovy mapy v samostatných oblastech odpovídajících hydrologickému rozdělení území na povodí velkých řek. Při transformaci jsem se dostal do problému s deformací říční sítě. V panelu *Spatial Adjustment* se vybírají třídy, které se mají transformovat, ale geometrická síť není samostatná třída, pouze uchovává informaci o spojitosti jiných tříd. Po provedení transformace došlo k tomu, že linie se transformovaly pouze v uzlových bodech, ale na volných úsecích zůstaly v původní poloze. Usoudil jsem, že informace o síti není v tomto kroku nezbytná, a data převedl do *shapefilů*.

Území jsem rozdělil na 5 částí: Ohře - Bílina, Horní Labe, Berounka, Sázava a Vltava. V každé oblasti jsem si načetl data z Müllerovy mapy společně s třídou obcí *BuiltupP* z ERM. Jako identické body jsem vybíral obce rovnoměrně rozmístěné po celém zájmovém území.

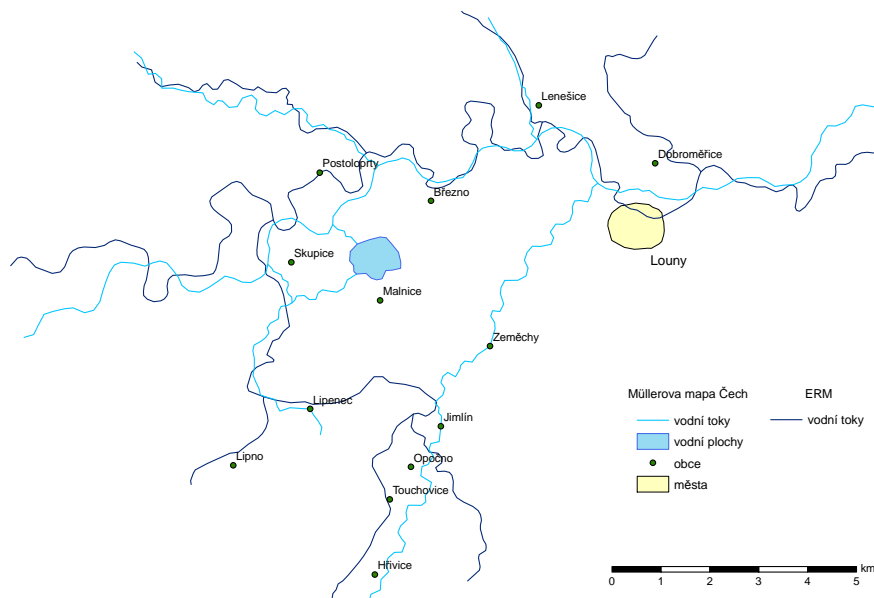
Typ transformace jsem zvolil podobnostní s výjimkou povodí Berounky, kde byly odchylky pro afinní transformaci výrazně nižší. Nejvyšší přesnost transformace jsem dosáhl v severozápadních Čechách v povodí Ohře, naopak největší odchylky mají

povodí	počet IB	střední chyba transformace [m]	
		podobnostní	afinní
Ohře - Bílina	13	866	831
Horní Labe	19	1250	1207
Berounka	16	1892	1165
Sázava	12	1208	1075
Vltava	18	1656	1560

Tab. 3.5: Transformace Müllerovy mapy v jednotlivých povodích

body v povodí Vltavy.

S takto transformovanými daty lze snadněji vyhledávat změny v říční síti. Detailní zkoumání všech toků na Müllerově mapě je úkol velmi rozsáhlý, a tak jsem se zaměřil jen na povodí řek Ohře a Bíliny. Nalezl jsem několik toků, které zanikly v důsledku těžební činnosti: Pstružný potok (Sokolovská pánev), Radčický p., Ledvický p. a Radovesický p. (Mostecká pánev) a také jsem objevil výraznou změnu ve směru toku říčky Hasiny (dříve nazývána Hřivický potok) na Lounsku.



Obr. 3.10: Změna směru toku Hasiny na Lounsku

Potok původně tekł přes obec Zeměchy a u Loun se vléval do Ohře. Na konci 18. st. (I. vojenské mapování) už směr jeho toku odpovídá současnému stavu. Hasina se u Jimlína stáčí na západ, pokračuje přes Lipenec a do Ohře se vlévá u Skupic (obr. 3.10).

3.7.2 Přesnost zákresu vodních toků

Určení přesnosti, s jakou jsou v Müllerově mapě znázorněny řeky, je velmi komplikované. Oblouky na menších tocích jsou zvětšeny a tvar meandrujících řek je naopak zjednodušen. Navíc některé řeky od Müllerova mapování změnily své koryto. Pokusil jsem se spočítat přesnost na vhodném úseku řeky a porovnat ji s ostatními prvky mapy (obcemi).

Vybral jsem si úsek Ohře mezi Sokolovem a Stráží nad Ohří přesně ohraničený soutoky s Lobežským a Pekelským potokem a vektorovou kresbu Müllerovy mapy jsem v této oblasti transformoval podle polohy obcí podél řeky. Použil jsem 16 identických bodů a dosáhl střední chyby podobnostní transformace 607 metrů. Zkoumaný úsek má délku 51,6 km v Müllerově mapě a 55,5 km v ERM. Jako jednoznačně určené body na toku jsem zvolil soutoky, které se nachází na obou mapách. Změřil jsem jejich polohové odchylky a dosáhl s použitím 14 bodů střední polohové chyby 879 metrů. Největší odchylky jsou v tomto úseku způsobeny nezakreslením meandru Ohře mezi Radošovem a Velichovem a posunem kresby toku u obce Loket, kde je řeka odsazena od skutečné polohy podle velikosti mapové značky města. Podobné posuny lze nalézt na Müllerově mapě i u jiných měst, např. na Vltavě v Rožmberku a Českém Krumlově.

3.8 Významné rybníky v Müllerově mapě Čech

S prvními rybníky na našem území se setkáváme už od 12. století. Kromě chovu ryb plní funkci protipovodňovou, energetickou, slouží jako retenční zásoba vody a jsou také výrazným krajinným prvkem. Největší rozvoj rybníkářství v Čechách nastal v 15. a 16. st., kdy byly vybudovány rozsáhlé soustavy rybníků v jižních Čechách a Polabí. Odhaduje se, že na konci 16. století byla úhrnná výměra rybníků v českých zemích 180 tisíc ha. Po třicetileté válce začaly rybníky pustnout a v 18. st. vedly nové způsoby užívání půdy k jejich masovému rušení v zemědělských oblastech a přeměně na ornou půdu. Plocha rybníků se k roku 1840 zmenšila na 35 tisíc ha. Müllerova mapa tak zachycuje i mnoho z dnes již neexistujících rybníků [11].

STATISTIKA	Müllerova mapa	ERM
počet rybníků	2151	1162
celková výměra [ha]	47 729	25 073

Tab. 3.6: Porovnání rybníků na území Čech v Müllerově mapě a ERM

Rybníky najdeme s výjimkou horských oblastí na celém českém území. Hlavní rybníkářskou oblastí je dnes Českobudějovická a Třeboňská pánev, srovnatelná hustota a rozloha rybníků byla dříve, jak ukazuje Müllerova mapa, také v Polabí. Blato u Poděbrad a Velká Čeperka na Pardubicku byly po několik staletí s rozlohou těsně pod 1000 ha největšími rybníky v Čechách. Většina zdejších velkých rybníků ale zanikla a do dnešní doby se dochovaly jen napájecí kanály (Opatovický, Sánský).

oblast	počet rybníků / celková výměra [ha]	
	Müllerova mapa	ERM
Poděbradsko	13 / 1110	0 / 0
Chlumecko	27 / 1431	13 / 443
Pardubicko	29 / 2944	15 / 598
Českobudějovicko	102 / 3039	82 / 2422
Třeboňsko	93 / 8994	122 / 5408

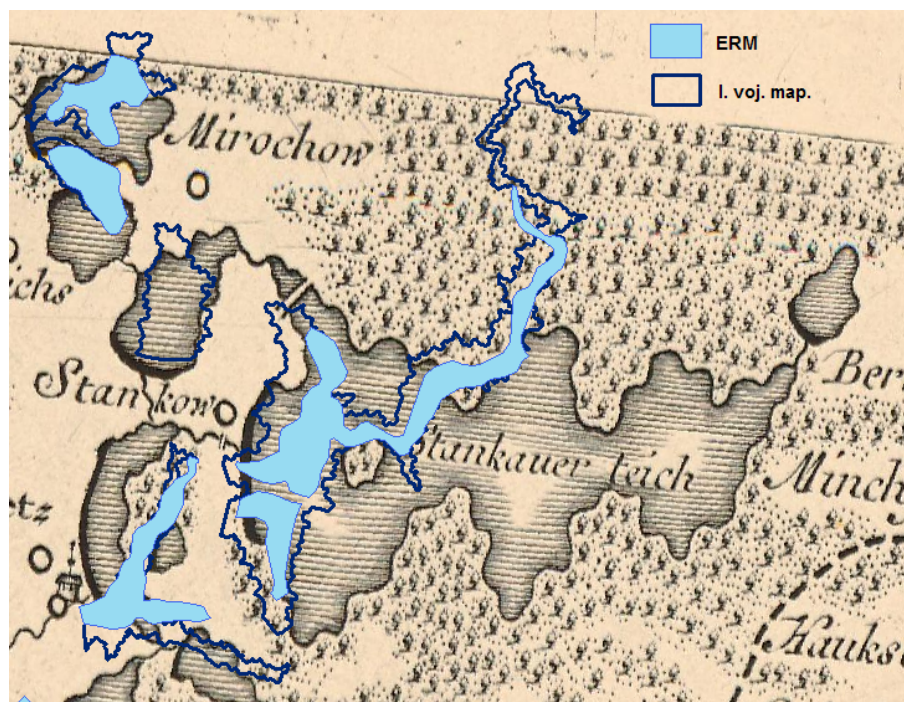
Tab. 3.7: Vývoj rybníků v nejvýznamnějších oblastech

pořadí	název	oblast	výměra [ha]	
			Müllerova mapa	ERM
1	Staňkovský ryb.	Třeboňsko	1195	173
2	Rožmberk	Třeboňsko	908	421
3	Velká Čeperka	Pardubicko	907	
4	Blato	Poděbradsko	656	
5	Oplatil	Pardubicko	622	135
6	Rutvas	Chlumecko	578	
7	Bačovský ryb.	Poděbradsko	476	
8	Rozkoš	Pardubicko	418	
9	Svět	Třeboňsko	414	185
10	Bezdrev	Českobudějovicko	387	369
11	Máchovo jez.	Českolipsko	356	271
12	Jezero	Mostecko	353	
13	Velký Tisý	Třeboňsko	340	211
14	Dvořiště	Třeboňsko	339	292
15	Záblatský ryb.	Třeboňsko	304	259

Tab. 3.8: 15 největších rybníků v Müllerově mapě Čech

Seřadil jsem rybníky dle rozlohy a porovnal je s výměrou v ERM. U první pozice v tabulce 3.8 je třeba se pozastavit. Zákres Staňkovského rybníka je největší chybou ve vodstvu na Müllerově mapě Čech (obr. 3.11). Tvarem ani velikostí neodpovídá skutečnosti a domnívám se, že jelikož větší část rybníka se nachází v lese, byla jeho poloha jen odhadnuta. Vznikl v 16. st. za účelem regulovat průtoky na Koštěnickém potoku a je typickou údolní nádrží s protáhlým tvarem, který kopíruje hranici s Rakouskem. Jeho výměra byla dle I. voj. mapování přibližně 400 ha. Ve 20. století z něj byl přehrazením oddělen rybník Špačkov a proto je jeho rozloha dnes ještě výrazně menší.

K porovnání polohy rybníků jsem využil rastrová data Müllerovy mapy, která jsem georeferencoval pro zájmové území. Za identické body jsem volil obce, pokud



Obr. 3.11: Staňkovský rybník na Müllerově mapě Čech

možno rovnoměrně rozmístěné kolem rybníků, a použil jsem afinní transformaci (polynomické transformace vyšších stupňů by příliš deformovaly obraz). Protože 1 mapový list zahrnuje rozsáhlé území a ne vždy transformace dobře vystihovala rybníky v různých částech listu, vypočetl jsem pro některé listy více transformací.

Stejným způsobem jsem transformoval i vybrané mapové listy I. vojenského mapování, které jsem získal od vedoucího bakalářské práce. Kromě listu č. 110 jsem provedl vždy jednu transformaci pro mapový list. Na stycích mapových listů se výrazně projevila nespojitost tohoto mapování. Listy se po georeferencování výrazně překrývají nebo mezi nimi vznikají mezery. Zvolené rybníky z Müllerovy mapy jsem zvektorizoval a určil jejich výměru na těchto mapách. V případě, že se rybník rozkládal na více listech, posunul jsem menší části tak, aby se vzájemně dotýkaly na hranici mapových listů a bylo možno je sloučit do jednoho prvku.

Zajímavé je určitě, že při obou transformacích bylo nejnižší přesnosti dosaženo na stejném území (listy č. 18, resp. 243 v okolí Lomnice nad Lužnicí). To potvrzuje předpoklad, že I. vojenské mapování bylo prováděno na podkladě zvětšenin Müllerovy mapy.

ML	oblast	IB	stř. chyba [m]
9	Úmyslovice	6	228
14	Pardubicko	11	328
14	Chlumecko	23	400
14	Velký Osek	7	353
18	Lomnice	10	576
18	Rožmberk	12	568
18	Bezdrev	9	268
23	Třeboňsko	10	426
23	Dehtář	6	335

Tab. 3.9:

Transformace Müllerovy mapy

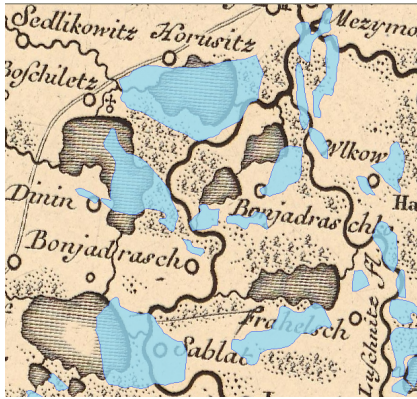
ML	oblast	IB	stř. chyba [m]
93	Úmyslovice	7	196
110	Velký Osek	8	200
110	Pátek	7	180
111	Chlumecko	20	365
112	Pardubicko	9	399
129	Pardubicko	8	349
242	Bezdrev	6	319
243	Lomnice	13	456
249	Dehtář	6	247
250	Bezdrev	5	323
251	Třeboňsko	9	252
252	Staňkov	6	123

Tab. 3.10:

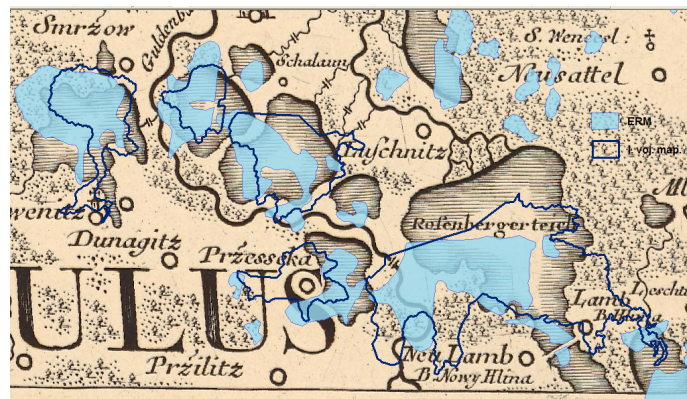
Transformace I. voj. mapování

Dále jsem si přes WMS server *geoportal.cenia.cz* připojil georeferencované rastry II. vojenského mapování (1807 - 1869) a mohl tak porovnat vývoj rybníků. Výsledkem je tabulka výměr nejvýznamnějších rybníků v Müllerově mapě Čech, I. a II. voj. mapování a v ERM (viz příloha A).

Na Třeboňsku se rybníky příliš neměnily. Obr. 3.12 zobrazuje Horusický, Bošilecký, Záblatský a Ponědražský rybník. Nepřesnosti jsou v jejich poloze (odpovídá přesnosti transformace mapového listu v tomto území), jejich tvar ale dobře vystihuje skutečný stav. Anomálií na Müllerově mapě je Horusický rybník. Zatímco většina rybníků svou rozlohu zmenšila, Horusický zabírá v současnosti i podle vojenských mapování přibližně dvojnásobnou plochu než na Müllerově mapě. Rožmberk na obr. 3.13 má specifický tvar, který příliš neodpovídá pozdějším mapám. Podobně jako u Staňkovského rybníka se jedná o „kresbu přes míru“. Jeho protažení na Müllerově mapě v severojižním směru lze snadno určit ze vzájemné polohy hráze rybníka a obcí Lužnice a Nová Hlína. Podobné výměry dosahuje Rožmberk sice i v I. voj. mapování, zde už má ale správně vystihnutý tvar a jeho rozloha je ovlivněna přesahem



Obr. 3.12: Horusický rybník



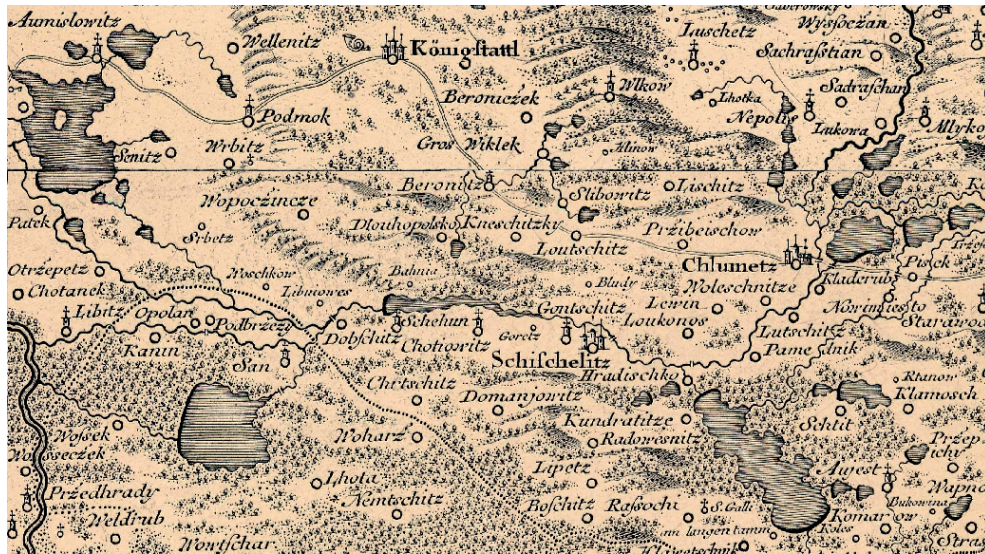
Obr. 3.13: Rožmberk a okolí

na 3 mapové listy, které se při georeferencování překrývají. Ostatní rybníky (Kaňov, Velký Tisý, Koclířov a Dvořiště) jsou zakresleny bez větších chyb.



Obr. 3.14: Pardubicko na Müllerově mapě Čech

Největšími rybníky na Pardubicku byly (na obr. 3.14 směrem od východu) Velká Čeperka, Oplatil, Rozkoš a Bohdanečský rybník, na Chlumecku Rutvas (JV část obr.3.15) a na Poděbradsku Bačovský rybník a Blato (západní okraj obr.3.15).



Obr. 3.15: Chlumeco na Müllerově mapě Čech

3.9 Oblasti dnešních vodních nádrží

Dalším úkolem práce bylo prozkoumat oblasti dnešních vodních nádrží a najít obce, které byly zatopeny. Seřadil jsem nádrže podle velikosti a vybral ty, na nichž lze dobře určit zatopené území. Většina nádrží má totiž úzký protáhlý tvar a jejich šířka je srovnatelná nebo menší než přesnost, s níž lze mapu v dané oblasti georeferencovat. Provedl jsem tedy transformaci rastrů Müllerovy mapy v okolí nádrží, které jsem označil jako nejvhodnější.

mapový list	vodní nádrž	počet IB	stř. chyba [m]
7	Nechranice	10	307
7	Přísečnice	8	336
9	Rozkoš	8	200
11	Jesenice a Skalka	14	392
13	Švihov	10	349
22	Lipno	12	396

Tab. 3.11: Transformace Müllerovy mapy v okolí vodních nádrží

I na těchto nádržích jsou ale vidět místa, kde řeka v Müllerově mapě teče mimo její plochu (nádrže jsou tvořeny prvky z třídy *LakeresA* ERM). Největší odchylky

jsou právě v úzkých částech nádrží. V některých oblastech Lipna, Švihova a Skalky dosahuje maximální vzdálenost řeky od okraje nádrže 600 až 800 metrů. Z Müllerovy mapy tak nelze u většiny nádrží určit, které obce byly zatopeny, a pro tento úkol bylo nutné použít přesnější mapy z pozdější doby.



Obr. 3.16: Přísečnice



Obr. 3.17: Nechranice

Pod hladinou nádrže Přísečnice v Krušných horách zmizelo stejnojmenné městečko s bohatou hornickou historií, v kterém žilo na začátku 20. století 4000 obyvatel. Na vodní nádrži Nechranice jsem určil 6 zatopených obcí: Dolany (*Dela*), Lomazice (*Lometitz*), Běšice (*Weschitz*), Chotěnice (*Kudenitz*), Drahonice (*Drahnitz*) a Čermníky (*Tschermig*) [13].



Obr. 3.18: Oblast vodní nádrže Rozkoš na Müllerově mapě

Nejpřesněji se podařilo transformovat mapu kolem nádrže Rozkoš. Je to způsobeno jejím kruhovým tvarem a rovnoměrným rozložením obcí kolem břehů. Nádrž vznikla v místě bývalých rybníků a nezatopila žádné obce.



Obr. 3.19: Oblast vodní nádrže Lipno na Müllerově mapě

Břehovka nádrže Lipno s Müllerovou mapou příliš nesedí. Na mnoha místech je tok mimo plochu nádrže a skutečný výčet obcí, které byly zatopeny, se neshoduje s obrázkem 3.19.

Závěr

Práce se dá rozdělit do dvou částí. V té první probíhala kontrola, doplnění a úprava dat, s nimiž jsem později prováděl analýzy, v druhé jsem porovnával vodstvo v Müllerově mapě s ERM.

Zjistil jsem, že vektorový model Müllerovy mapy Čech obsahuje velké množství nepřesností, a chyby v hydrologických prvcích jsem opravil. Z vodních toků jsem vytvořil v programu ArcGIS 9.3 geometrickou síť. I během její výstavby se dá zkontrolovat topologická čistota dat. Vyhledání nespojených prvků totiž pro případ říční sítě vhodně nahradí pravidlo o volných koncích. Tímto způsobem jsem identifikoval chyby nejen v Müllerově mapě, ale také v datech ERM, která jsem použil při porovnání. Obě říční sítě nyní mají určený směr toku a lze v nich provádět různé analýzy.

Z porovnání délek vodních toků vyplývá, že řeky v Müllerově mapě jsou kratší. Rozdíl není příliš velký a lze ho také vysvětlit tím, že přesné vykreslení toku v místech s velkou klikatostí by vzhledem k měřítku mapy ani nebylo žádoucí. Mnohem větší rozdíly ve tvaru linií se týkají malých potoků. Jejich oblouky jsou v Müllerově mapě pro zvýraznění toku jednoznačně zvětšeny. Přesnost zákresu vodních toků je dle mého měření na řece Ohři menší než přesnost obcí. Přesto je podrobnost říční sítě vzhledem k době vzniku mapy a použitým metodám obdivuhodná.

Rybníky v Müllerově mapě Čech zabírají na stejném území téměř dvojnásobnou výměru než podle ERM. Cennou informací je především tvar a poloha těch, které dnes již neexistují. Z kritického pohledu ale nesmím zapomenout dodat, že na několika rybnících jsem prokázal výrazně zvětšený zákres v mapě. Nalezení oblastí zatopených novými vodními nádržemi na Müllerově mapě nelze příliš dobře provést. Rozměry nádrží jsou totiž v některých směrech menší než přesnost zákresu toku.

Na závěr bych chtěl dodat, že množství hydrologických prvků, které dokázal Müller zmapovat, dává velké možnosti ke zkoumání vodstva především v oblastech, kde došlo v pozdější době k výrazným krajinným změnám.

Použité zdroje

- [1] SEMOTANOVÁ, Eva. *Mapy Čech, Moravy a Slezska v zrcadle staletí*. Praha: Libri, 2001. 263 s. ISBN 80-7277-078-0.
- [2] HAVLÍČEK, Jakub. *Vektorový datový model Müllerovy mapy Čech*. Praha, 2009. 65 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební. [online]. Dostupné z URL: <http://maps.fsv.cvut.cz/gacr/student/2009_Bc_Havlicek.pdf>.
- [3] KREJČÍ, Jiří, CAJTHAML, Jiří. *Müllerovy mapy českých zemí, jejich digitalizace a zpracování*. In *Kartografické listy*, 2007, č.15 [online]. [cit. 2010-04-11]. Dostupné z URL: <http://projekty.geolab.cz/gacr/b/files/krejci_cajthaml_x_07.pdf>.
- [4] ESRI *ArcGIS Geodatabase Topology Rules* [online]. [cit. 2009-12-12]. Dostupné z URL: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/pdf/Topology_rules_poster.pdf>.
- [5] *Lab 8. Utility Network Analysis* [online]. [cit. 2010-02-03]. Dostupné z URL: <http://bss.sfsu.edu/jdavis/geog620/exer/lab8_connectivity.pdf>.
- [6] NAGEL, Dave. *Create geometric network* [online]. [cit. 2010-02-03]. Dostupné z URL: <http://www.fs.fed.us/rm/boise/research/gis/documents/CreateGeometricNetwork_SetStreamFlowDirectionForUtilityNetworkAnalyst_FlipArcs.pdf>.
- [7] ESRI *Individual Flow Direction Command* [online]. [cit. 2010-02-09]. Dostupné z URL: <<http://edndoc.esri.com/arcobjects/8.3/Samples/Network/UtilityNetworkAnalysis/IndividualFlowDirection/IndivFlowDir.htm>>.
- [8] EUROGRAPHICS *EuroRegionalMap* [online]. [cit. 2010-05-05]. Dostupné z URL: <<http://www.eurogeographics.org/products-and-services/euroregionalmap>>.

- [9] PEJŠA, Jiří. *Automatizované generování EuroRegionalMap z Data200* [online]. [cit. 2010-05-05]. Dostupné z URL: <http://gis.zcu.cz/studium/apa/referaty/2007/Pejsa_ERMFromData200/-html/>.
- [10] VÁŇOVÁ, Jarmila. *Národní databáze Data200 a projekt EuroRegionalMap-popis databázi*. In Geodetický a kartografický obzor. 2009, č.9. [online]. [cit. 2010-05-05]. Dostupné z URL: <http://www.cuzk.cz/GenerujSoubor.ashx?NAZEV=10-GAKO09_9>.
- [11] NĚMEC, Jan. HLADNÝ, Jan. BLAŽEK, Vladimír ... [et al.]. *Voda v České republice*. Praha: Consult, 2006. 253 s. ISBN 80-903482-1-1.
- [12] *Explanation of Computing River Reach Sinuosity Exercise* [online]. [cit. 2010-03-22]. Dostupné z URL: <http://www.fgmorph.com/fg_2_23.php>.
- [13] *Zaniklé obce po roce 1945* [online]. [cit. 2010-05-11]. Dostupné z URL: <<http://www.zanikleobce.cz/index.php?obec=76>>.

Seznam symbolů, veličin a zkratek

ČVUT	České vysoké učení technické
FSv	Fakulta stavební
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
ČSÚ	Český statistický úřad
ERM	EuroRegionalMap
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
IB	Identický bod
WMS	Web Map Service

Seznam příloh

A	Výměry vybraných rybníků	46
B	Obsah přiloženého CD	47

A Výměry vybraných rybníků

jméno rybníku	výměra [ha]			
	Müllerova mapa	I. voj. map.	II. voj. map.	ERM
Třeboňsko				
Vlkovický ryb.	90	62	117	79
Výskok	107	49	62	52
Spolský ryb.	110	187	139	83
Svět	414	370	207	185
Opatovický ryb.	279	198	170	128
Hradeček	90	134	-	-
Třebichov	177	32	-	-
Humlenský ryb.	204	148	110	48
Starý Hospodář	178	119	107	119
Staré Jezero	161	116	95	78
Starý Kanclíř	166	88	46	31
Bartoňcovo Blato	297	-	-	-
Purkrabský ryb.	169	118	83	32
Hejtman	115	88	93	75
Staňkovský ryb.	1195	437	353	173
Maluškov	127	84	54	-
Blato	70	34	44	44
Velká Černá	127	73	61	50
Rožmberk	908	996	714	421
Káňov	166	157	171	116
Velký Tisý	340	326	420	211
Koclířov	206	122	199	160
Dvořiště	339	257	403	292
Záblatský ryb.	304	277	333	259
Ponědražský ryb.	131	145	145	112
Bošilecký ryb.	268	191	197	156
Horusický ryb.	180	413	433	363
Českbudějovicko				
Bezdrev	387	733	510	369
Dehtář	229	295	267	224
Pardubicko				
Bohdanečský ryb.	218	364	355	87
Rozkoš	418	253	261	-
Oplatil	622	361	372	135
Velká Čeperka	907	443	537	-
Pohránovský ryb.	38	105	64	47
Živanický ryb.	169	148	-	-
Chlumecko				
Chlumecký ryb.	170	364	183	-
Písecký ryb.	70	141	100	-
Kosický ryb.	53	175	97	-
Rutvas	578	372	-	-
Bačovský ryb.	476	437	-	-
Blato	656	981	-	-

Tab. A.1: Porovnání výměr významných rybníků na jednotlivých mapách

B Obsah příloženého CD

Struktura adresářů:

/data/

/IndivFlowDir/

/text/