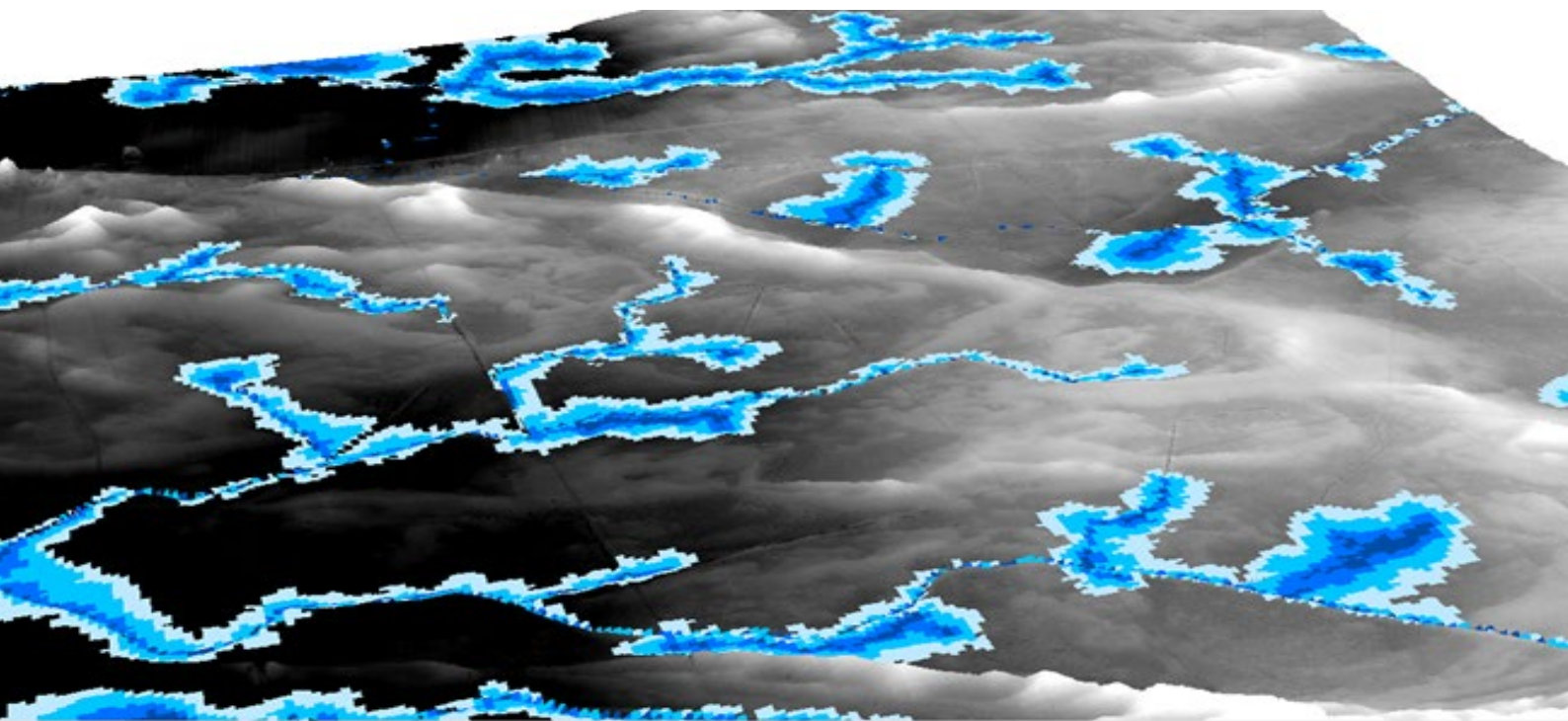




Wykorzystanie map terenów podmokłych w leśnictwie

2021-04-09



Autorzy wersja oryginalna
Eva Ring, Anneli Ågren, Isabelle Bergkvist,
Leena Finér, Fredrik Johansson i Lars Högbom

Autorzy wersja polska
Mariusz Ciesielski, Tomasz Hycza,
Krzysztof Jodłowski, Ewelina Dobrowolska

Okladka
Zdjęcie: Mariusz Ciesielski

Spis treści

Streszczenie	4
Summary	4
Przedmowa	5
Użyteczne narzędzie w praktyce leśnej	6
Dziesięć przykładów wykorzystania map terenów podmokłych w leśnictwie	9
Mapy terenów podmokłych w planowaniu i wykonywaniu prac leśnych	14
Pozyskanie drewna— trzebieże i rębnie	15
Planowanie sieci szlaków zrywkowych podczas cięć rębnych – przykład zastosowania map terenów podmokłych	15
Odnowienia	18
Czyszczenia późne (trzebież przedkomercyjna)	18
Drogi leśne	19
Nawożenie	20
Od tradycyjnych map topograficznych do cyfrowych map terenów podmokłych	21
1.1 Od zdjęć lotniczych do algorytmów uczenia maszynowego – krótka prezentacja	21
1.2 Tereny podmokłe na mapach topograficznych	25
1.3 Lotnicze skanowanie laserowe a rzeźba terenu	25
1.4 Sieć cieków na podstawie numerycznych modeli terenu	26
1.5 Mapy terenów podmokłych metodą DTW (DEPTH-TO-WATER)	27
DTW a poziom zalegania wód gruntowych	27
Mapy DTW – niskie i wysokie warunki przepływu	29
1.6 Mapy terenów podmokłych opracowywane na podstawie uczenia maszynowego	29
1.7 Dokładność różnych rodzajów map	31
1.8 Ograniczenia map terenów podmokłych	33
1.9 Dane do wykonania map terenów podmokłych	34
Mapy terenów podmokłych w rejonie Morza Bałtyckiego – najważniejsze informacje	36
Komentarze leśników i osób związanych z leśnictwem	37

Streszczenie

Mapy terenów podmokłych wskazują ich lokalizację w sąsiedztwie wód powierzchniowych, takich jak ciek wodny i jeziora. Wilgotność gleby przedstawiona na mapach jest wynikiem modelowania głównie na podstawie danych topograficznych. W zależności od rodzaju wykorzystanych numerycznych modeli terenu, otrzymane wyniki mogą różnić się od siebie, jednak zawsze są dokładniejsze niż tradycyjne mapy topograficzne. Dokładność ta jest widoczna głównie w zakresie identyfikacji przebiegu mniejszych cieków i terenów podmokłych położonych w ich sąsiedztwie. Przedstawiony podręcznik ilustruje, w jaki sposób mapy terenów podmokłych można wykorzystać w praktyce leśnej, aby usprawnić proces planowania środowiskowego. Podręcznik jest dedykowany dla planujących prace leśne, przedsiębiorców leśnych, operatorów maszyn, prywatnych właścicieli lasów, pracowników różnych szczebli zarządzania w Lasach Państwowych oraz władz lokalnych.

Summary

Wet area maps indicate the location of wet areas adjacent to streams and lakes. Soil wetness is modelled primarily using topographic data. Various models result in maps that differ in accuracy, but they all include a much larger proportion of the watercourses than conventional maps, in particular smaller streams with adjacent wet areas. This guide illustrates how wet area maps can be used for practical forestry in the Baltic Sea region to improve environmental planning. This guide is intended for forestry planners, contractors, machine operators, private forest owners, forestry and authority employees.



WAMBAF Tool Box

Opracowanie podręcznika zostało sfinansowane ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Przedmowa

Niniejszy podręcznik przedstawia, w jaki sposób mapy terenów podmokłych można praktycznie wykorzystać w leśnictwie w rejonie Morza Bałtyckiego. Podręcznik jest dedykowany dla planujących prace leśne, przedsiębiorców leśnych, operatorów maszyn, prywatnych właścicieli lasów, pracowników różnych szczebli zarządzania w Lasach Państwowych oraz władz lokalnych. W podręczniku zawarte są praktyczne doświadczenia w korzystaniu z tego typu map w Szwecji i Finlandii, a także wyniki badań, raporty naukowe i ekspertyzy. Przedstawiono również dwie nowoczesne metody generowania map terenów podmokłych. Podręcznik stanowi również źródło wiedzy na temat gospodarki leśnej prowadzonej w krajach skandynawskich. Niektóre z jej elementów mogą być i są wykorzystywane również w polskim leśnictwie.

Przed wdrożeniem któregośkolwiek z proponowanych rozwiązań lub procedur, ważne jest, aby użytkownicy upewnili się, że są one zgodne z ustawodawstwem krajowym, innymi przepisami i normami systemu certyfikacji lasów.

Niniejszy podręcznik powstał na podstawie jego anglojęzycznej wersji, opracowanej w ramach projektu UE Interreg WAMBAF Tool Box (<https://www.skogsstyrelsen.se/en/wambaf/>), trwającego od 1 sierpnia 2019 r. do 31 lipca 2021 r.

Autorzy podręcznika dziękują wszystkim zaangażowanym osobom (Marjo Ahola, Jonas Amrén, Joakim Gustafsson, Antti Leinonen, Jonny Lundgren, Per Norbäck, Magnus Olofsson i Tobias Wegebro) za wsparcie merytoryczne, dzielenie się wiedzą i doświadczeniem oraz partnerom z projektu WAMBAF Tool Box za cenne komentarze w trakcie przygotowania raportu.

Dane wykorzystane na mapach zostały pozyskane z :

- Numeryczny model terenu, grid 2+ ©The Swedish mapping, cadastral and land registration authority (Ryc. 10, 15, 26 i 30)
- GSD-mapa własności, wektor ©The Swedish mapping, cadastral and land registration authority
- GSD-mapa własności, kombinacja rastrów ©The Swedish mapping, cadastral and land registration authority (Ryc. , 29A i 29C)
- DTW © Szwedzka Agencja Leśna Swedish Forest Agency (Ryc. 15 i 29B)
- DTW © Department of Forest Ecology and Management, Swedish University of Agricultural Sciences (26)
- Ortofotomapa © Department of Forest Ecology and Management, Swedish University of Agricultural Sciences (Ryc. 28)
- MLWAM © Department of Forest Ecology and Management, Swedish University of Agricultural Sciences (Ryc. 27 i 29C)
- Akumulacja przepływu © Department of Forest Ecology and Management, Swedish University of Agricultural Sciences (Ryc. 10 i 30C)
- Ortofotomapa © Zakład Geomatyki, Instytut Badawczy Leśnictwa (Ryc. 3B, 3D, 20A, 21,22)
- Ortofotomapa © Główny Urząd Geodezji i Kartografii (Ryc. 2, 4, 7, 8, 28)
- Numeryczny Model Terenu © Zakład Geomatyki, Instytut Badawczy Leśnictwa (Ryc. 3C, 3D, 20C-F, 23, 25)
- Mapa topograficzna © Główny Urząd Geodezji i Kartografii (Ryc. 3A, 20B)
- Sieć cieków © Zakład Geomatyki, Instytut Badawczy Leśnictwa (Ryc. 23)

Użyteczne narzędzie w praktyce leśnej

W krajach nadbałtyckich grunty leśne zajmują od 30 do 70% powierzchni i obejmują wiele jezior i cieków wodnych. Choć leśnictwo jest istotną gałęzią gospodarki w tym regionie, ważna jest również ochrona wód powierzchniowych przed negatywnym wpływem gospodarki leśnej. Skutków tych można uniknąć lub je ograniczyć poprzez staranne planowanie prac leśnych (ryc.1).

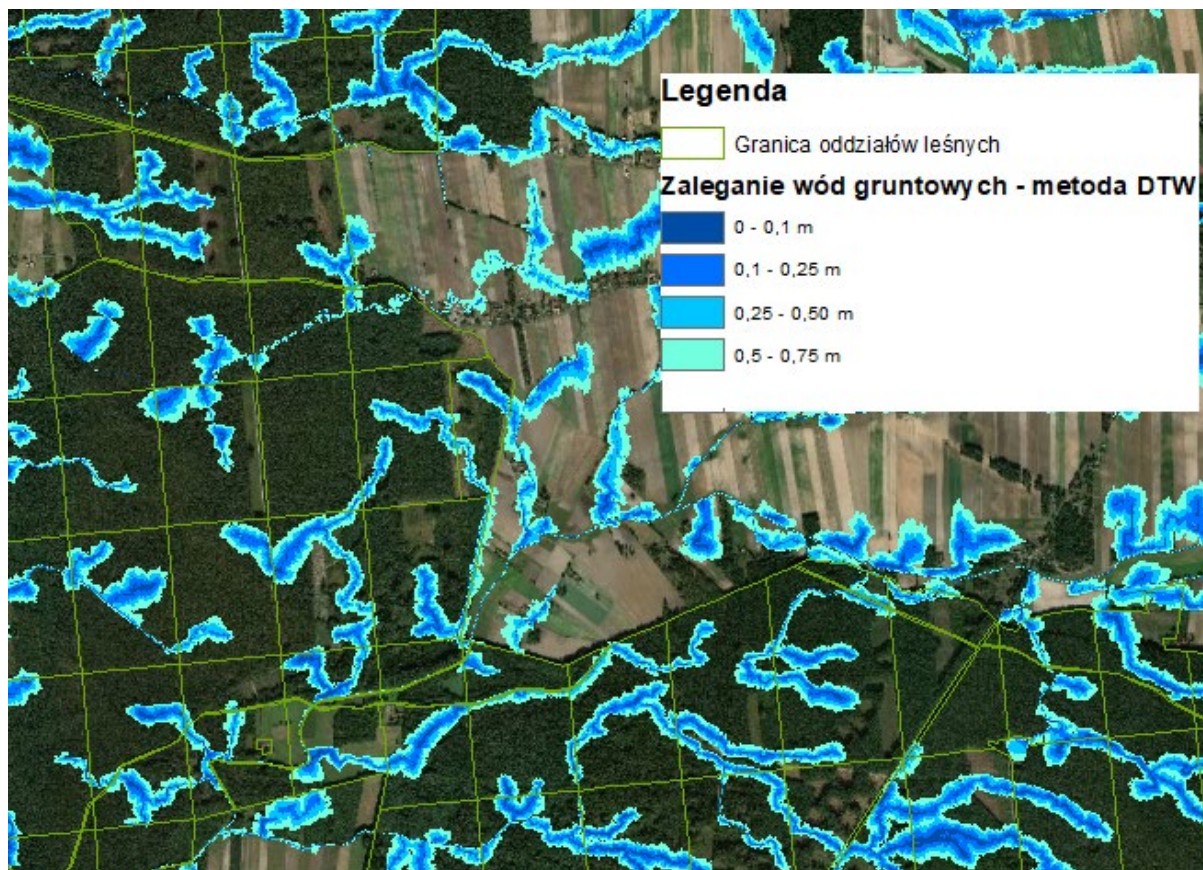


Ryc. 1. Ochrona źródeł, mniejszych strumieni i rzek na terenach leśnych jest ważna, ponieważ są one zwykle bardziej narażone na negatywne skutki prowadzonych prac leśnych, niż większe rzeki czy jeziora. Na przykład koleina w pobliżu strumienia może znacznie zwiększyć erozję, która jest szkodliwa dla organizmów wodnych. Zdjęcie E. Ring

Mapy obszarów podmokłych to stosunkowo nowy rodzaj map, które wskazują lokalizację obszarów podmokłych w sąsiedztwie cieków wodnych i jezior. Obejmują one lokalizację najmniejszych cieków wodnych, których często brakuje na konwencjonalnych mapach. Obszary podmokłe są ważne dla jakości wody, a ten rodzaj mapy okazał się przydatny w planowaniu i realizacji prac leśnych a także w celu ochrony wód, gleb i różnorodności biologicznej na terenach leśnych.

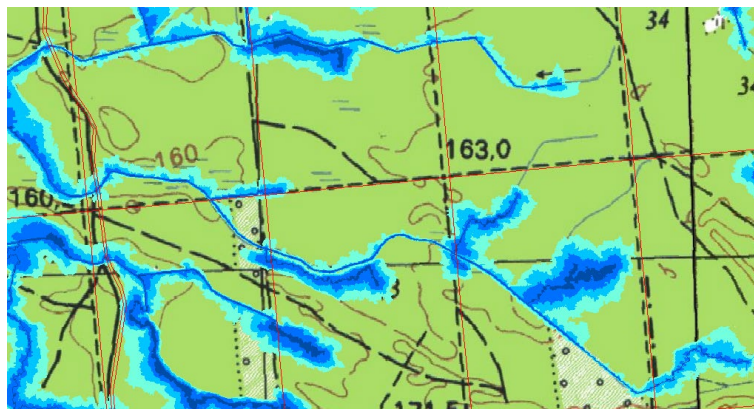
Istnieją różne rodzaje map terenów podmokłych. Jedną z nich jest tzw. Depth-To-Water (DTW), która jest z powodzeniem wykorzystywana w szwedzkim leśnictwie od około sześciu lat i jest wynikiem modelowania poziomu wód gruntowych w krajobrazie. W ramach projektu WAMBAF Tool Box, mapy terenów podmokłych są generowane również dla obszarów Finlandii, Łotwy i Polski. Podczas realizacji projektu, w Szwecji zostaną prawdopodobnie zakończone prace nad mapami terenów podmokłych, opracowanymi na podstawie zaawansowanych algorytmów uczenia maszynowego (MLWAM). Bez względu na sposób powstania, oba rodzaje map wskazują tereny podmokłe przylegające do cieków i jezior, ale mogą różnić się dokładnością.

Na mapach DTW gleby o różnej wilgotności są wyróżniane różnymi odcieniami niebieskiego. Obszary ciemnoniebieskie pokazują, gdzie modelowany poziom wód gruntowych znajduje się w odległości kilkudziesięciu centymetrów od powierzchni gleby i wskazują tereny podmokłe. Jasnoniebieskie obszary pokazują, gdzie poziom wód gruntowych jest bliski głębokości jednego metra i wskazują tereny suche. Na mapach DTW ciemnoniebieskie obszary obejmują również ciek wodne i jeziora, które można zidentyfikować, dodając odpowiednie tematyczne warstwy przestrzenne pochodzące z innych źródeł, takich jak WMS/WFS z geoportalu krajowego czy geoportali branżowych.

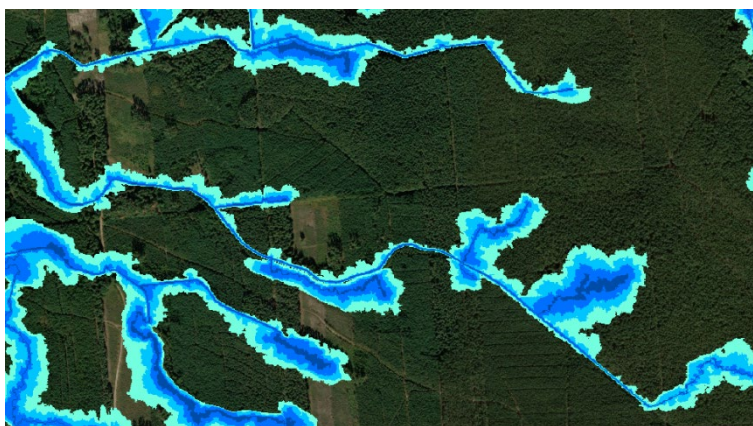


Ryc. 2. Mapa DTW dla wybranego obszaru w Polsce, przedstawiająca obszary podmokłe sąsiadujące ze strumieniami i zbiornikami wodnymi. Różnymi odcieniami niebieskiego przedstawiono głębokość zalegania wód gruntowych.

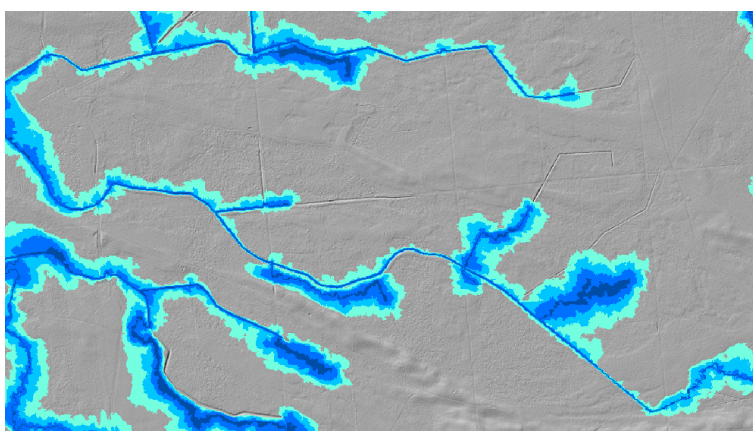
Informacje z kilku map cyfrowych można łatwo łączyć, na przykład zmieniając przezroczystość map (ryc. 3). Można również włączać i wyłączać różne warstwy mapy.



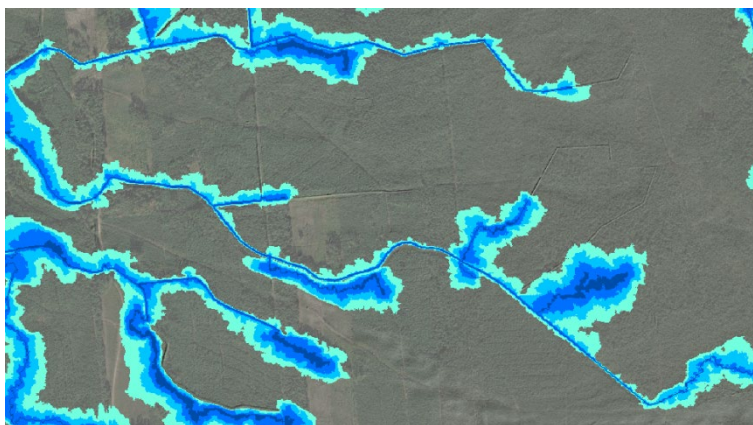
Ryc. 3A. Mapa terenów podmokłych na podkładzie mapy topograficznej.



3B. Mapa terenów podmokłych na podkładzie z ortofotomapy, przedstawiającą fragment kompleksu leśnego.



3C. Mapa terenów podmokłych na podkładzie z wykorzystaniem cieniowanej rzeźby terenu (model 3D powierzchni terenu).



3D. Mapa terenów podmokłych i ortofotomapa, z zastosowaną przezroczystością, nałożone na cieniowaną rzeźbę terenu.

Ryc. 3. A-D. Mapy terenów podmokłych przy zastosowaniu różnych sposobów wyświetlania. Warstwy w kompozycji mapy można łączyć lub przeglądać pojedynczo, w zależności od potrzeb.

Dziesięć przykładów wykorzystania map terenów podmokłych w leśnictwie

Mapy terenów podmokłych mogą być wykorzystywane, jako narzędzie podczas planowania lub w trakcie prowadzenia prac leśnych w pobliżu cieków wodnych i jezior, aby uniknąć długotrwałych szkód w ekosystemach glebowych i wodnych, a także kosztownych i nieprzewidzianych zakłóceń podczas prac w terenie. Poniżej przedstawiono dziesięć przykładów zastosowań map terenów podmokłych:

1. aktualizacja rozmieszczenia cieków wodnych,
2. identyfikacja mniejszych cieków,
3. planowanie sieci szlaków zrywkowych,
4. znalezienie najlepszego miejsca przejazdu przez cieki wodne,
5. ocena czy pozostałości pozrębowe będą niezbędne w ochronie gleby,
6. wytyczanie stref buforowych w lasach, wzdłuż cieków wodnych i jezior,
7. identyfikacja terenów podmokłych z bogatą roślinnością w pobliżu cieków wodnych,
8. ochrona stref buforowych przed nawożeniem i przygotowaniem gleby,
9. unikanie niekontrolowanego przekraczania cieków wodnych,
10. identyfikacja obszarów, gdzie można prowadzić prace ziemne.

Przykłady 1-10 zostały zilustrowane na ryc. 4-13.



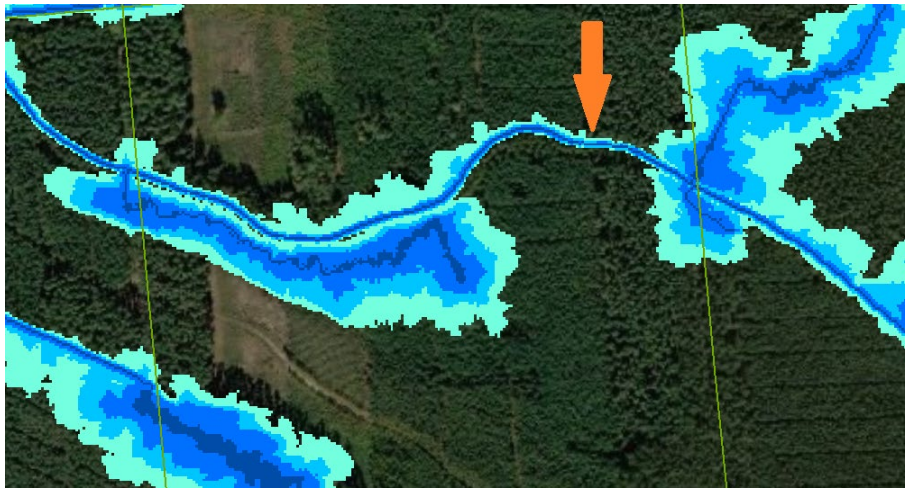
Ryc. 4. Przegląd rozmieszczenia cieków wodnych - przykład 1. Mapa terenów podmokłych przedstawia rozmieszczenie sieci cieków wodnych, nie tylko w miejscu prowadzenia prac, ale również w górę i w dół cieku. Informacje te są przydatne przy planowaniu ochrony wód, na przykład w związku z oczyszczaniem rowów, które zwiększają transport osadów dół cieku wodnego.



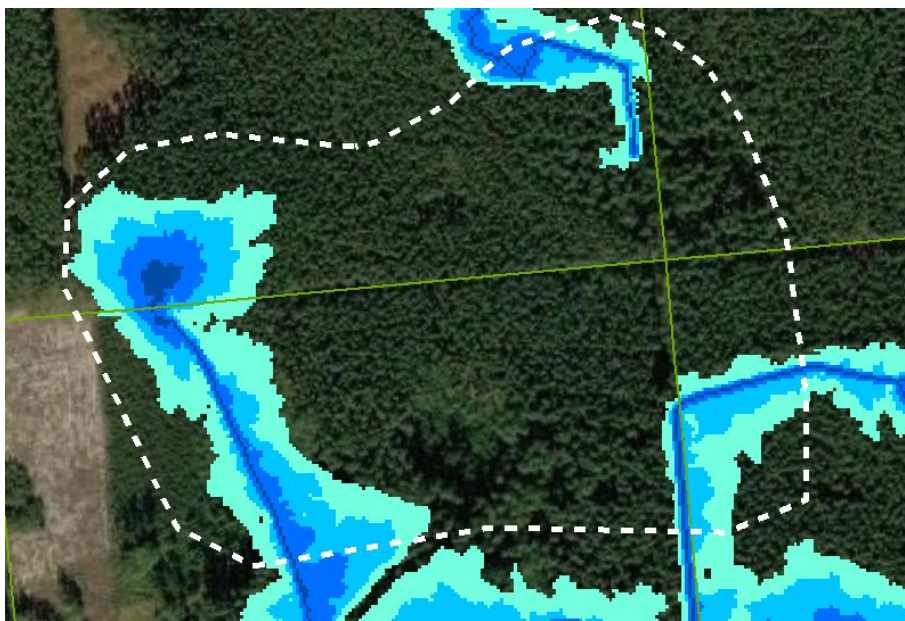
Ryc. 5. Identyfikacja mniejszych cieków wodnych – przykład 2. Mapy terenów podmokłych wskazują lokalizację mniejszych cieków, których często brakuje na mapach topograficznych oraz są niewidoczne na ortofotomapach. Znajomość lokalizacji cieków jest niezbędna do ich ochrony, np. przed przejeżdżaniem przez nie maszyn leśnych, ale także do utrzymania i tworzenia stref buforowych o wysokiej funkcjonalności ekologicznej. Zdjęcie E. Ring.



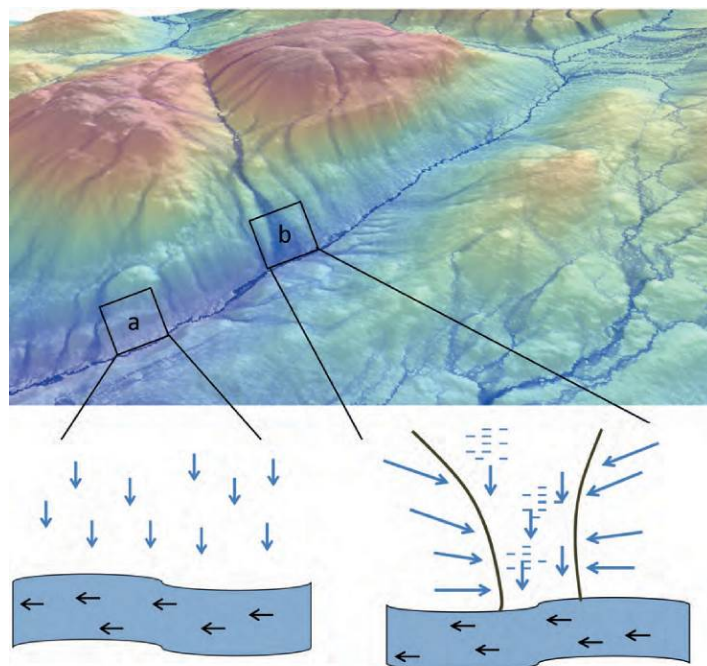
Ryc. 6. Planowanie sieci szlaków zrywkowych - przykład 3. Wstępny plan sieci szlaków zrywkowych można wykonać w biurze, korzystając z mapy terenów podmokłych. Zrywka powinna odbywać się poza niebieskimi obszarami na mapie, aby zmniejszyć ryzyko powstawania kolein. Następnie wymagana jest weryfikacja w terenie w celu potwierdzenia lub zmiany proponowanej sieci szlaków zrywkowych. Na zdjęciu: jazda po podmokłym terenie z mchami może skutkować powstaniem kolein, które przenoszą glebę do cieku wodnego przy dużym przepływie wody. Zdjęcie E. Ring.



Ryc. 7. Znajdowanie najlepszego miejsca na przejazd przez ciek wodny - przykład 4. Gdy nie da się uniknąć przejazdu przez ciek wodny, można w biurze, na mapie obszaru podmokłego, zidentyfikować potencjalnie odpowiednie miejsca do postawienia mostu. Takie lokalizacje zaznacza się tam, gdzie niebieska strefa przylegająca do ciek wodnego jest wąska. Zasadność wybranej lokalizacji można następnie potwierdzić lub zweryfikować, przeprowadzając inspekcję w terenie przed rozpoczęciem prac.



Ryc. 8 Ocena czy pozostałości pozrębowe będą niezbędne do ochrony gleby - przykład 5. Mapy terenów podmokłych mogą zostać wykorzystane do oceny, w których miejscach pozostałości pozrębowe mogą być potrzebne do ochrony gleby (tereny niebieskie). Ze względu na sezonowe poszerzanie i zmniejszanie się terenów podmokłych, należy zachować ostrożność w ocenie, na których terenach jest zasadne uprzątnięcie pozostałości zrębowych, a na których nie.



Ryc. 9. Wytaczanie stref buforowych w lasach, wzdłuż cieków wodnych i jezior- przykład 6. Mapy terenów podmokłych mogą również służyć, jako narzędzie do wyznaczania stref buforowych o zmiennej szerokości. Strefy te powinny obejmować wrażliwe na uszkodzenia tereny podmokłe oraz brać pod uwagę inne czynniki, aby uzyskać odpowiednie zacienienie, ilość opadających liści, posuszu i inne pożądane funkcje buforowe. Należy podkreślić, że w niektórych państwach Morza Bałtyckiego, szerokość stref buforowych jest określana poprzez przepisy krajowe. Zdjęcie E. Ring



Ryc. 10. Identyfikacja terenów podmokłych z bogatą roślinnością w pobliżu cieków wodnych - przykład 7. Wody gruntowe zazwyczaj są odprowadzane do cieku wodnego w sposób pokazany na rycinie (a). Czasami jednak odprowadzanie wód gruntowych może koncentrować się na zastoiskach przed ciekami wodnymi (b). Lasy borealne, na których takie skoncentrowane odprowadzanie wód gruntowych występuje, charakteryzują się odmienną i bogatszą gatunkowo florą, niż brzegi cieków wodnych z bardziej równomiernym odprowadzaniem wód gruntowych (a). Oprócz bogactwa flory, obszary te charakteryzują się również większą urodzajnością gleb i większym wpływem na jakość wód w ciekach wodnych. Mapa obszarów podmokłych może być przydatna do identyfikacji obszarów podmokłych z bogatszą florą, które powinny być częścią buforu leśnego i chronione przed przejeżdżającymi maszynami leśnymi. Ilustracja na podstawie Laudon i in. (2016) oraz zdjęcia A. Agren.



Ryc. 11. Ochrona stref buforowych przed nawożeniem i przygotowaniem gleby– przykład 8. Mapy terenów podmokłych mogą również posłużyć do identyfikacji stref krytycznych wzdłuż cieków wodnych i brzegów jezior, których nie wolno nawozić i na których nie wolno przygotowywać gleby. Należy pamiętać, że zasięg sieci cieków wodnych zmienia się wraz z przepływem wody. Biorąc to pod uwagę, można wygenerować mapy terenów podmokłych z różnymi progami inicjacji cieków, aby wskazać warunki suche i mokre. (patrz ryc. 23, 25 i 26). Zdjęcia E. Ring.



Ryc. 12. Unikanie przypadkowego przejazdu przez cieki wodne – przykład 9. Dysponując mapami terenów podmokłych, możliwe jest unikanie przypadkowego przejazdu przez cieki wodne. Mniejsze cieki wodne mogą być trudne do zauważenia, gdy ziemia jest pokryta śniegiem lub gdy pozyskanie odbywa się nocą. Zdjęcie S. Tegelmano

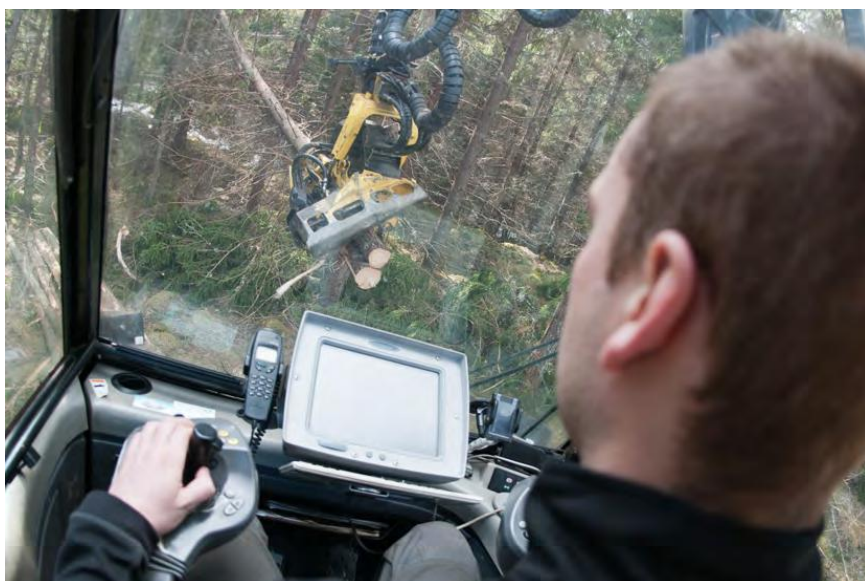


Ryc. 13. Identyfikacja obszarów gdzie można wykonywać kopce —przykład 10. W przypadku, gdy mapa terenów podmokłych wskazuje na wysoki stopień wilgotności gleby, można rozważyć przygotowanie gleby wykonując kopce. Zdjęcie E. Ring

Mapy terenów podmokłych w planowaniu i wykonywaniu prac leśnych

Mapy obszarów podmokłych mogą być używane do planowania w biurze i w terenie oraz podczas prowadzenia prac leśnych. Przydają się podczas kontroli w terenie oraz podczas wykonywania prac leśnych, zwłaszcza gdy lokalizacja maszyn leśnych jest wyświetlana w czasie rzeczywistym (ryc. 14). Dzięki lokalizacji w czasie rzeczywistym operator maszyny w sposób ciągły zna położenie maszyny w stosunku do podmokłych obszarów pokazanych na mapie. Mapy terenów podmokłych ułatwiają również planowanie prac, gdy ziemia jest pokryta śniegiem.

Weryfikację w terenie należy przeprowadzić po wstępnym zaplanowaniu prac w biurze, z wykorzystaniem mapy terenów podmokłych, w celu sprawdzenia i dostosowania granic, rozmieszczenia planowanych szlaków zrywkowych, przejazdu przez cieki wodne, stref ochronnych itp.



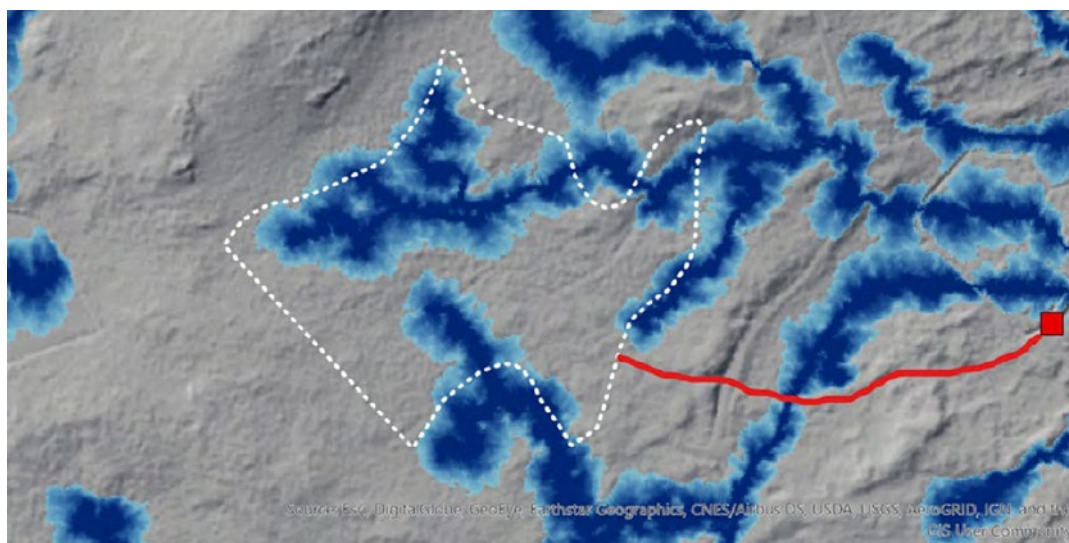
Ryc. 14. Dostęp do aktualnej pozycji maszyny leśnej na mapie obszaru podmokłego w czasie rzeczywistym, pomaga jej operatorowi unikać jazdy po wrażliwych na uszkodzenia glebach. Zdjęcie E. Viklund

Pozyskanie drewna — trzebieże i rębnie

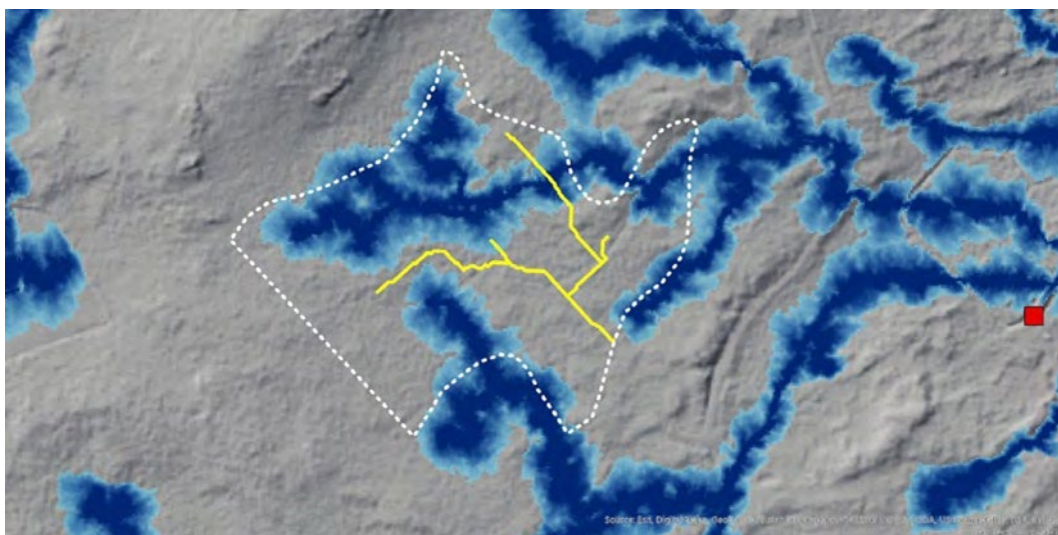
Mapy terenów podmokłych mogą wspomóc planowanie sieci szlaków zrywkowych, lokalizacji składnic, przejazdów przez ciek wodne, ochrony gleb podczas cięć rębnych (ryc. 15), Mapa terenów podmokłych może być również wykorzystywana w ochronie różnorodności biologicznej, na przykład podczas, wyznaczania stref buforowych.

Trzebieże są potencjalnie trudniejsze do zaplanowania niż cięcia rębne ze względu na stałą odległość między szlakami zrywkowymi. Planując trzebież, mapy obszarów podmokłych mogą być przydatne do identyfikowania potencjalnych problemów i rozpoznawania tych problemów od samego początku.

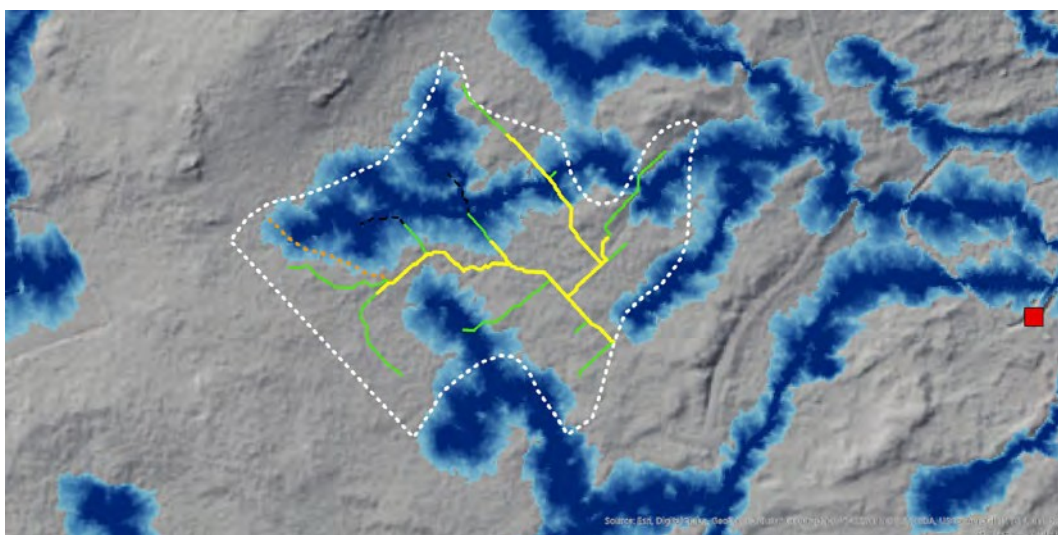
Planowanie sieci szlaków zrywkowych podczas cięć rębnych – przykład zastosowania map terenów podmokłych



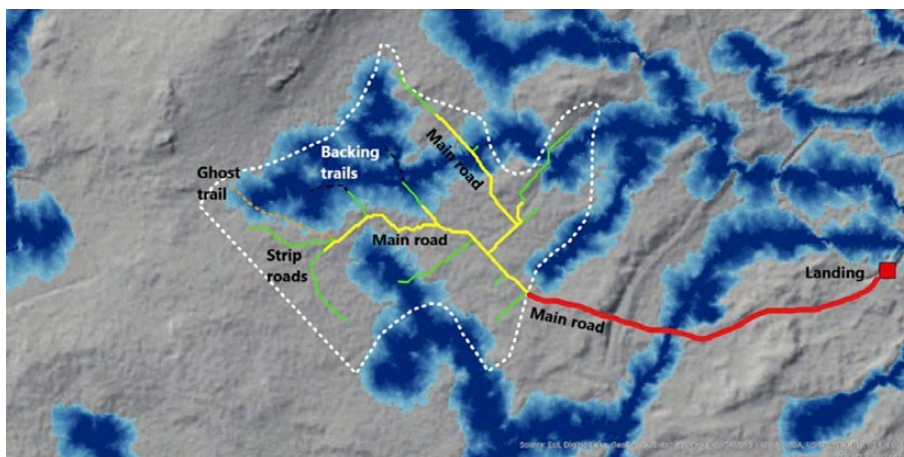
15A. Zbiorczy szlak zrywkowy z miejsca pozyskania do składnicy. Drewno musi zostać przetransportowane z miejsca pozyskania do miejsca składowania (czerwony kwadrat). Jak widać konieczny jest przejazd przez teren podmokły. W związku z tym należy znaleźć odpowiednie miejsce na przejazd, tj. tam, gdzie strefa podmokła jest wąska, a nachylenie terenu nie jest zbyt duże. Należy również wziąć pod uwagę odległość transportową i topografię - aby znaleźć najkrótszą trasę z odpowiednimi warunkami gruntowymi. Warunki są sprawdzane w terenie, w razie potrzeby przebieg szlaku zrywkowego jest korygowany.



15B. Sieć zbiorczych szlaków zrywkowych w miejscu pozyskania. Układ zbiorczych szlaków zrywkowych został zaprojektowany z uwzględnieniem ilości i rozmieszczenia surowca drzewnego. Każdy odcinek szlaku musi być w stanie wytrzymać bez uszkodzeń wymaganą liczbę przejazdów. Zbiornicze szlaki zrywkowe powinny znajdować się, w miarę możliwości, poza terenami podmokłymi i być wzmocnione pozostałościami zrębowymi. Warunki są sprawdzane w terenie, przebieg szlaków zrywkowych korygowany w razie potrzeby podobnie jak ochrona podłoża przy użyciu maty z pozostałości pozrębowych.



15C. Zbiornicze szlaki zrywkowe, widmowe szlaki zrywkowe oraz szlaki zrywkowe bez przejazdu. Szlaki zrywkowe (zaznaczone zielonymi liniami) oraz szlaki widmowe (przerwane, pomarańczowe linie) są w większości przypadków planowane na miejscu, w oparciu o układ zbiorczych szlaków zrywkowych i wyznaczone w terenie podczas wcześniejszych inspekcji terenowych. Pozostałości zrębowe są wykorzystywane do wzmocnienia gruntu na wszystkich ciemnoniebieskich obszarach i wszędzie tam, gdzie jest to potrzebne. „Szlaki widmowe” na mokrym terenie są wykorzystywane wyłącznie przez harwester, który wykorzystuje wysięgnik do umieszczania wyrobionego drewna na pobliskich, bardziej suchych obszarach. Forwarder może wtedy zerwać drewno bez wjeżdżania na najbardziej wilgotne obszary. Aby zmniejszyć oddziaływanie na podłoże, forwarder może wjeżdżać tyłem, bez ładunku, na wrażliwe obszary (czarne przerwane linie) i rozpocząć załadunek od końca szlaku zrywkowego i nie zbierać pełnego ładunku. Ładunek może uzupełnić później, zanim dotrze do składnicy.



15D. Przebieg całej sieci szlaków zrywkowych. Warunki glebowe w wyniku zmian pogody, mogą ulegać szybkiemu pogorszeniu, dlatego też, przebieg prac musi być stale dostosowywany do aktualnej sytuacji w terenie.

Ryc. 15A-D. Mapa terenów podmokłych, wygenerowana metodą DTW przez Szwedzką Agencję Leśną. Mapa została nałożona na cieniowaną rzeźbę terenu.

Odnowienia

Jeżeli podczas zrębu zupełnego nie zostanie zachowana strefa buforowa, to nadal istnieje możliwość podjęcia kroków mających na celu ochronę lub poprawę jakości wody. Mapa terenów podmokłych może być wykorzystana do identyfikacji obszarów, które powinny być wyłączone z przygotowania gleby i sadzenia drzew iglastych, np. tereny podmokłe i strefy przylegające do cieków wodnych i jezior (ryc. 16). Promowanie naturalnego odnowienia drzew liściastych na tych obszarach ma na celu zwiększenie ich udziału w strukturze drzewostanu i zapewnienie dobrego punktu wyjścia dla przyszłych stref buforowych.



Ryc. 16. Unikanie przygotowania gleby i jazdy po podmokłych obszarach przylegających do wód powierzchniowych, wskazanych na mapie obszarów podmokłych, pomoże chronić wody powierzchniowe przed zwiększonym napływem zerodowanej gleby. Ponadto powstrzymanie się od sadzenia drzew iglastych na obszarach wilgotnych będzie sprzyjało drzewom liściastym wzdłuż cieku wodnego lub rowu, co jest korzystne dla organizmów wodnych. Zdjęcie E. Ring

Czyszczenia późne (trzebież przedkomercyjna)

Drzewa liściaste na terenach podmokłych, łatwiej się odnawiają. Dlatego też, uzasadnione jest utrzymywanie dużego udziału drzew liściastych wzdłuż cieków wodnych (ryc. 17). Mapa obszarów podmokłych może posłużyć do znalezienia takich obszarów, na których podczas trzebieży przedkomercyjnej można pozostawić więcej drzew liściastych. Ściółka uformowana z opadających liści drzew liściastych stanowi źródło pożywienia o wyższej jakości dla organizmów wodnych niż igliwie z drzew iglastych.



Ryc. 17. Mapę terenów podmokłych można wykorzystać do identyfikacji obszarów, wzdłuż cieków wodnych, na których korzystniejsze jest osiągnięcie większego udziału drzew liściastych. Zdjęcie E. Ring

Drogi leśne

Mapy obszarów podmokłych można wykorzystać do lokalizacji dróg leśnych, w sytuacji gdy chcemy unikać terenów o niskiej nośności gruntu lub niepotrzebnego przekraczania cieków wodnych (ryc. 18). Budowa dróg oraz konserwacja rowów przydrożnych odsłania gleby mineralne, co może powodować erozję i zwiększyć transport cząstek gleby do pobliskiej wody. Rowy przydrożne nie powinny być zatem bezpośrednio połączone z ciekami wodnymi, co należy wziąć pod uwagę przy określaniu przebiegu drogi, a mapa terenów podmokłych z naniesioną siecią cieków i jezior może być w tym pomocna. Mapy te można również wykorzystać do wskazania miejsc, w których należy zainstalować przepusty drogowe.



Ryc. 18. Rozważenie budowy drogi, jest jedną z opcji transportu pozyskanego surowca, jeśli w krótkim odstępie czasu planowane jest pozyskanie drewna w sąsiadujących ze sobą wydzieleniach leśnych. Wstępny plan przebiegu nowej drogi, można sporządzić na podstawie map terenów podmokłych. Zdjęcie E. Ring.

Nawożenie

Nawóz leśny nie może być rozsiewany na ciek wodny lub obszary o dużej łączności z pobliskimi ciekami wodnymi i jeziorami (Przykład zabiegów ochronnych na ryc. 19). Aby uchronić ciek wodny i jeziora przed bezpośrednim nawożeniem, można użyć mapy obszarów podmokłych w celu zidentyfikowania krytycznych obszarów, na których nie wolno rozsiewać nawozów (należy pamiętać, że nawożenie jest często regulowane przez prawo, wytyczne i normy certyfikacji lasów). Lokalizacja ciągnika na mapie w czasie rzeczywistym pomoże operatorowi maszyny rozsiewać nawóz w wyznaczonych miejscach.



Ryc. 19. Zabiegów doglebowe preparatem do zwalczania pędraków. Zdjęcie H. Szmidla

Od tradycyjnych map topograficznych do cyfrowych map terenów podmokłych

Rozwój technologii w ostatnich dekadach umożliwił pozyskanie i przetwarzanie dużych zbiorów danych przestrzennych. W rezultacie, powstają również nowe metody generowania map terenów podmokłych.

Na rycinach 20A-F przedstawiono różne dane, metody oraz wyniki analiz. W rozdziale tym omówiono dwie metody generowania map terenów podmokłych: Depth-To-Water (DTW) i uczenia maszynowego (MLWAM), w celu zrozumienia zasady ich działania i interpretacji otrzymanych wyników.

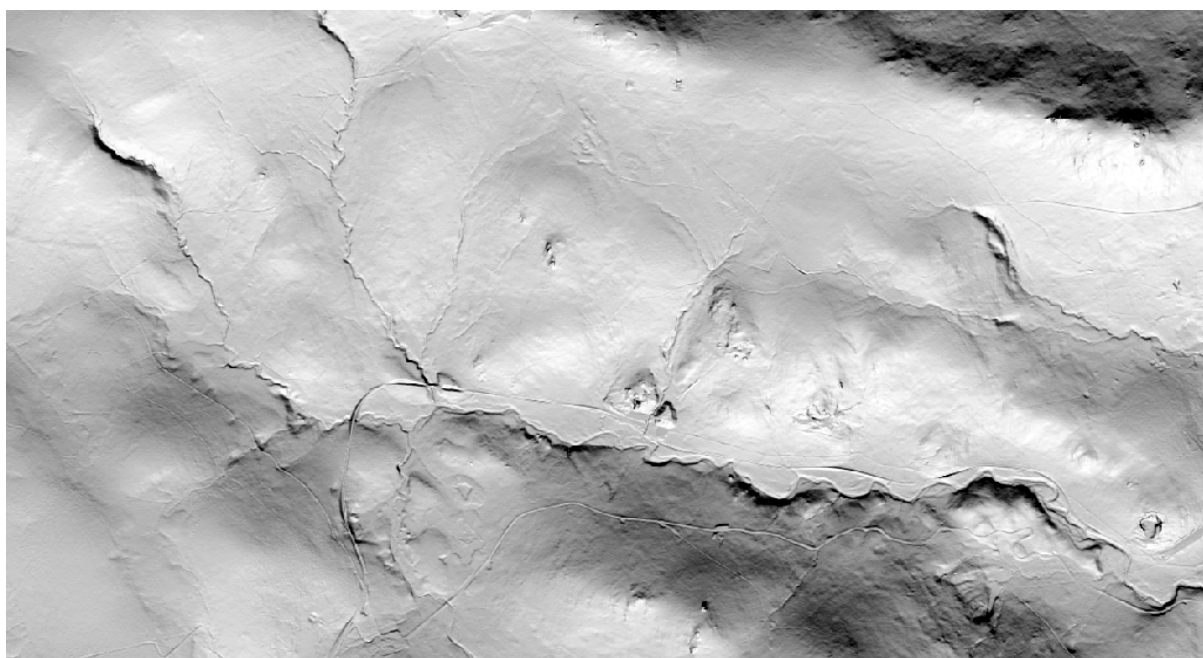
1.1 Od zdjęć lotniczych do algorytmów uczenia maszynowego – krótka prezentacja



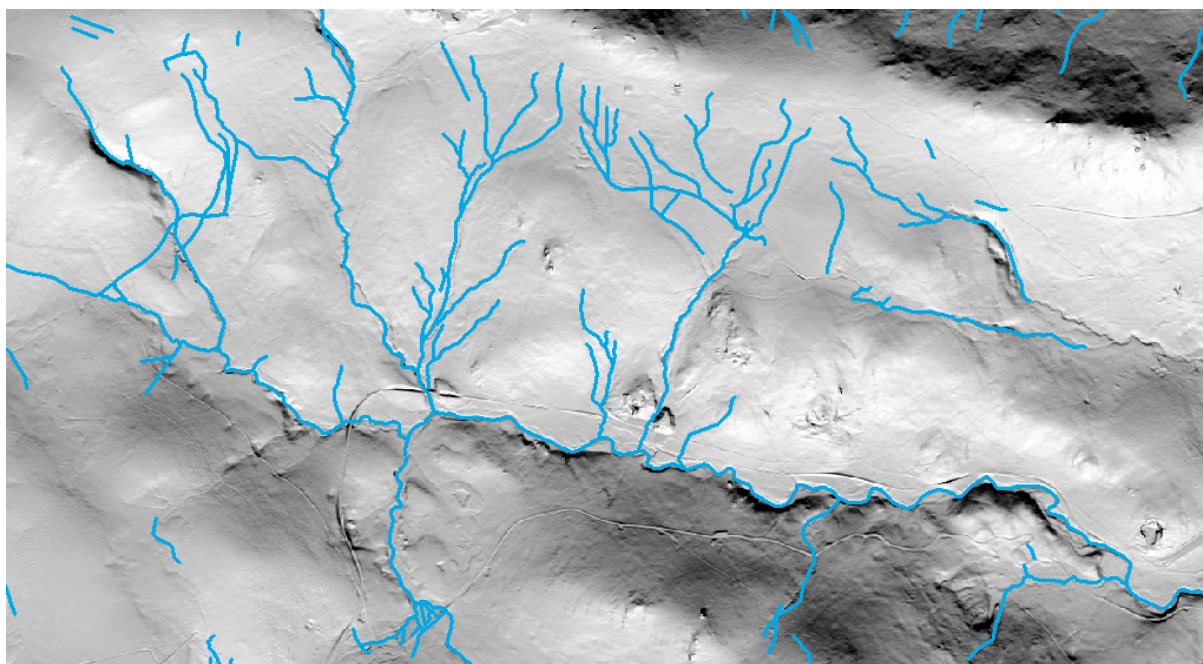
20A. Zdjęcia lotnicze (ortofotomapa). Z pułapu lotniczego widoczne są większe drogi i ciek. Węższe obiekty liniowe, znajdujące się pod okapem drzewostanu mogą być trudne do zidentyfikowania, co przekłada się na dokładność informacji zawarte w Leśnej Mapie Numerycznej.



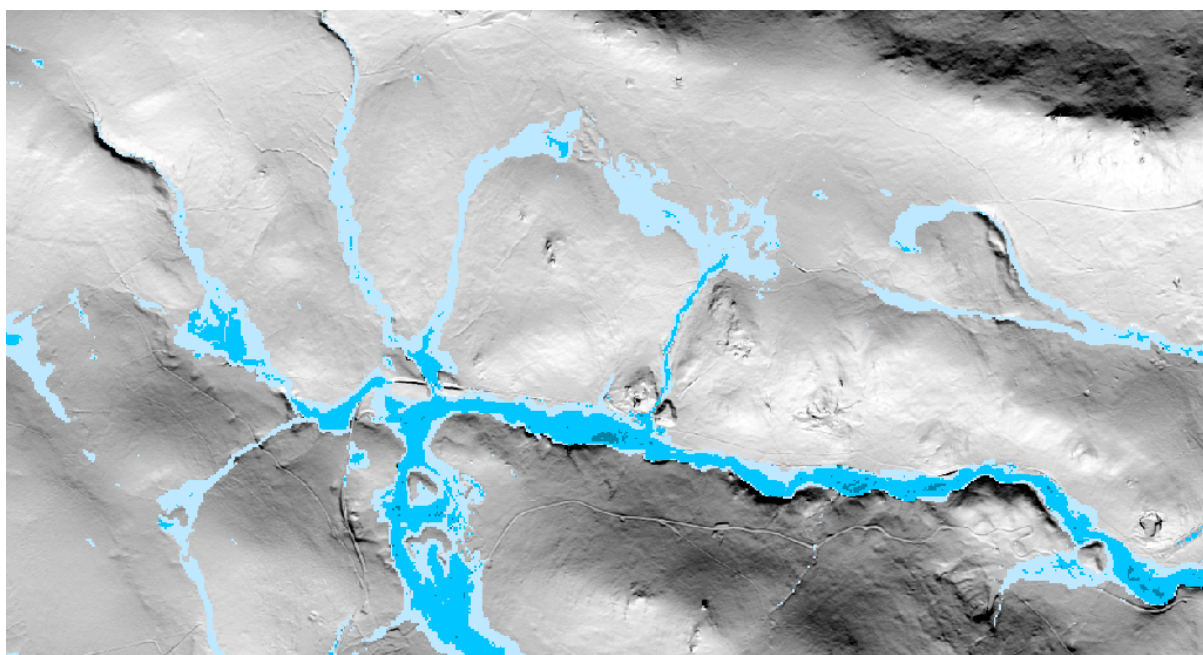
20B. Mapa topograficzna.



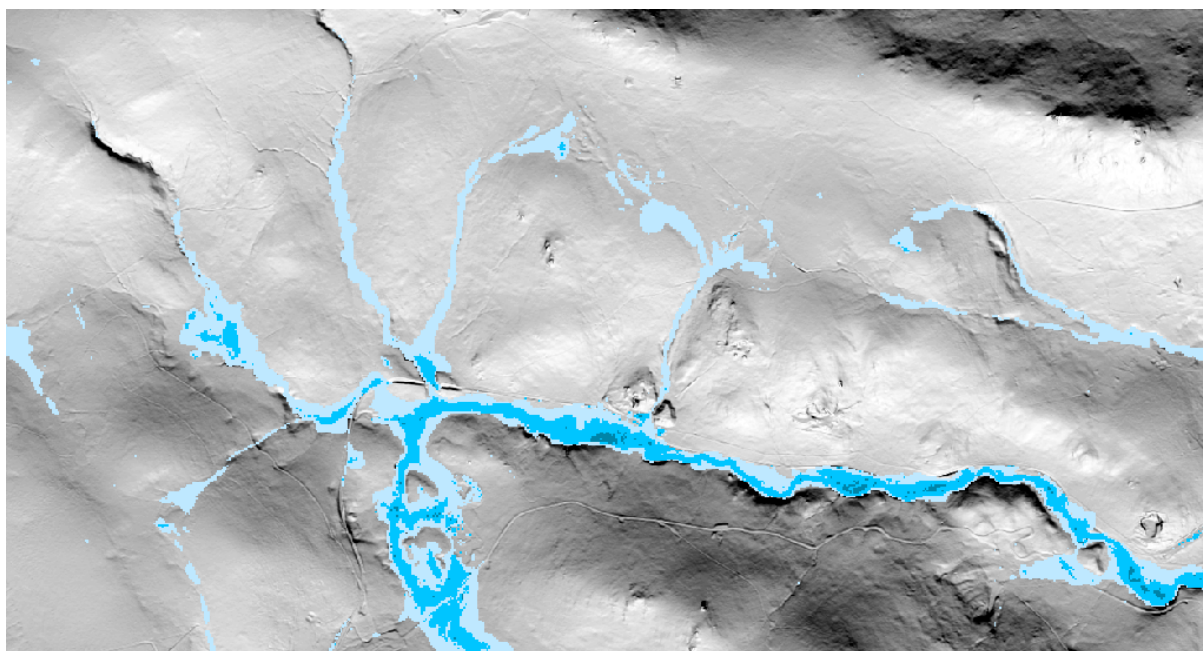
20C. Cieniowana rzeźba terenu na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego, w plastyczny sposób przedstawia zróżnicowanie terenu oraz uwypukla przebieg obiektów liniowych, które są niewidoczne na zdjęciach lotniczych.



20D. Sieć cieków, utworzona na podstawie numerycznego modelu terenu.



20E. DTW. Mapy DTW są generowane poprzez modelowanie poziomu wód w krajobrazie z wykorzystaniem sieci cieków oraz warstwy przestrzennej, zawierającej jeziora.



20F. MLWAM. Ten rodzaj map terenów podmokłych powstaje w wyniku wykorzystania kombinacji różnych danych przestrzennych oraz danych terenowych do algorytmu uczenia maszynowego.

Ryc. 20A-F. Podsumowanie procesu generowania map terenów podmokłych oraz cieków. Przykład dotyczy zlewni w nadleśnictwie w Szklarskiej Porębie (południowa Polska).

1.2 Tereny podmokłe na mapach topograficznych

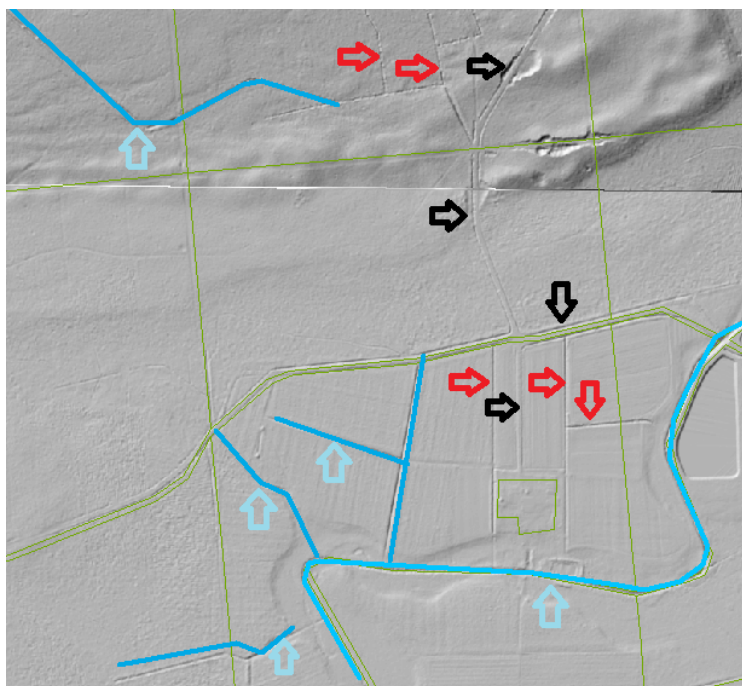
Na tradycyjnych mapach, małe cieki wodne oraz towarzyszące im tereny podmokłe są często pomijane, szczególnie na obszarach leśnych, gdzie ze względu na zwarcie koron, bardzo trudne lub wręcz niemożliwe jest określenie położenia tych obiektów. Ograniczenia te występują zarówno podczas interpretacji zdjęć lotniczych, jak również podczas prac terenowych, które stanowią źródło danych do wykonania map (ryc. 21).



Ryc. 21. Ortofotomapa fragmentu terenu leśnego w środkowej Polsce, z naniesionymi ciekami, pochodzącymi z tradycyjnych map topograficznych.

1.3 Lotnicze skanowanie laserowe a rzeźba terenu

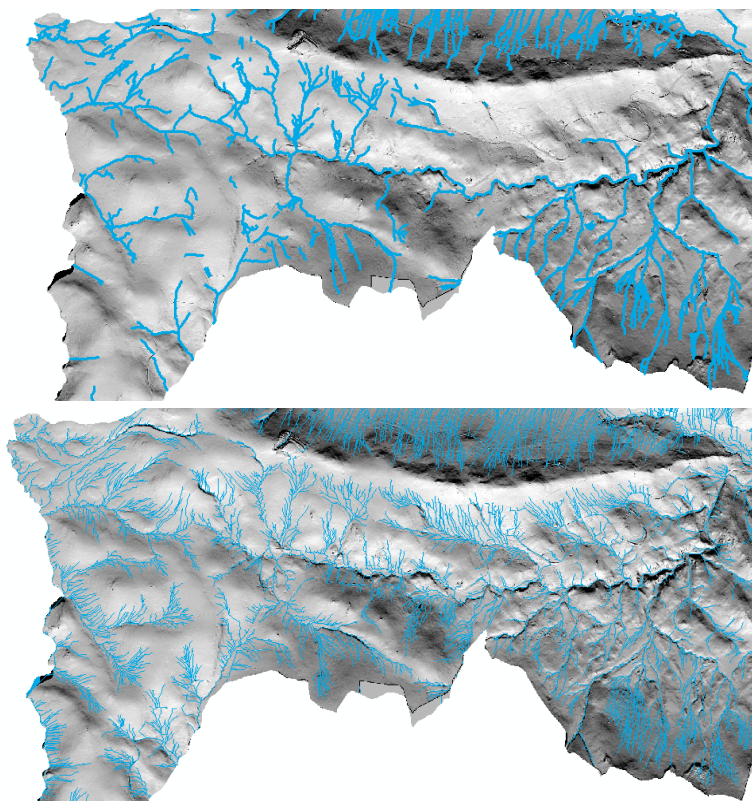
W większości krajów nadbałtyckich, w tym również w Polsce, dostępne są dane z lotniczego skanowania laserowego. Dane te pozyskane zostały dla Polski m.in. w ramach projektów centralnych, a od lipca 2020 roku, dostęp do nich jest bezpłatny. Dane można pozyskać ze strony geoportalu krajowego. Dokładność danych umożliwia wygenerowanie rzeźby terenu, na której widoczne są bardzo małe obiekty, takie jak cieki, rowy melioracyjne, drogi, również te znajdujące się pod okapem drzewostanu.



Ryc. 22. Numeryczny model terenu, opracowany na podstawie danych z lotniczego skanowania laserowego, dla tego samego obszaru, który przedstawiono na zdjęciu lotniczym na ryc. 21. Na grafice zaznaczono wybrane drogi (czarne strzałki), mniejsze cieki (niebieskie strzałki) oraz rowy (czerwone strzałki). Niebieską linią zaznaczono cieki widoczne na ortofotomapie. Pozostałe wskazane obiekty w większości te nie były widoczne na zdjęciu, ze względu na fakt zasłonięcia przez korony drzew.

1.4 Sieć cieków na podstawie numerycznych modeli terenu

Tradycyjne mapy topograficzne zwykle zawierają tylko większe cieki, wchodzące w skład sieci hydrograficznej. Jest to wynik generowania ich na podstawie zdjęć lotniczych, co jak już wspomniano powoduje, że wyznaczany jest przebieg tylko tych cieków, które są widoczne z pułapu lotniczego. Wiadomo jednak, że w rzeczywistości sieć cieków składa się nie tylko z tych większych, ale również licznych mniejszych, które często są pomijane. Dostęp do nowych technologii, głównie lotniczego skanowania laserowego umożliwił spojrzenie na świat z pułapu lotniczego, przez korony drzew aż do poziomu gruntu, co pozwala na opracowanie numerycznych modeli terenu o dokładności kilkunastu centymetrów. Modele terenu mogą zostać wykorzystane do modelowania obiegu wody w zlewniach i generowania sieci potencjalnych cieków wodnych. To, jaki poziom szczegółowości zostanie osiągnięty, zależy od zdefiniowanych parametrów modelu. Jednym z nich jest próg inicjacji strumienia. Próg ten określa, jak duże cieki zostaną wykryte. Na ryc. 23 zaprezentowano sieć cieków wodnych z progiem inicjacji wynoszącym 10 ha, a po prawej z progiem inicjacji wynoszącym 2 ha. Wybór progu 10 ha umożliwił otrzymanie wyników podobnych do tradycyjnych map topograficznych, natomiast próg 1 ha umożliwił wygenerowanie cieków, dotychczas nieuwzględnionych na mapach.



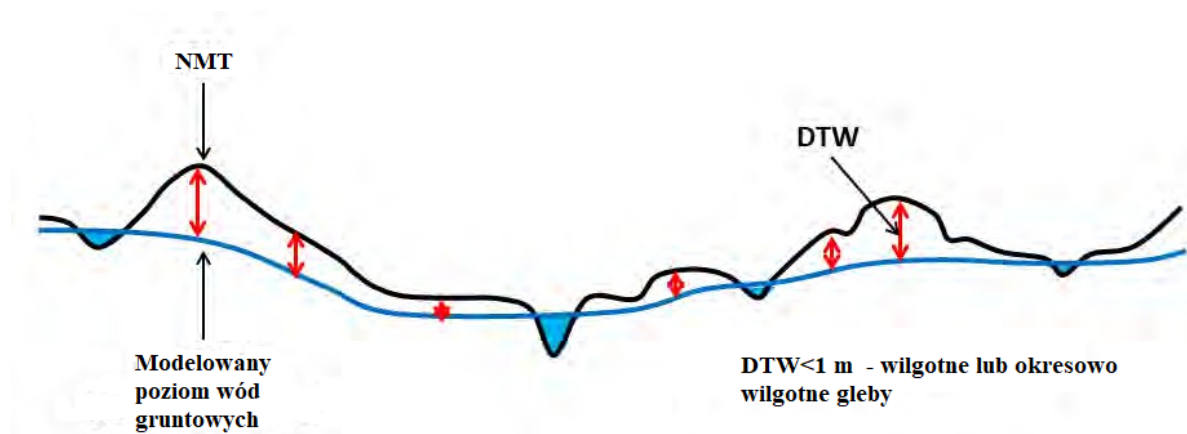
Ryc. 23. Dwie mapy sieci cieków w zlewni Szklarskiej Porębie (południowa Polska). Górny obrazek: sieć wygenerowana z progiem inicjacji wynoszącym 10 ha. Dolny obrazek sieć na podstawie progu inicjacji 1 ha.

1.5 Mapy terenów podmokłych metodą DTW (DEPTH-TO-WATER)

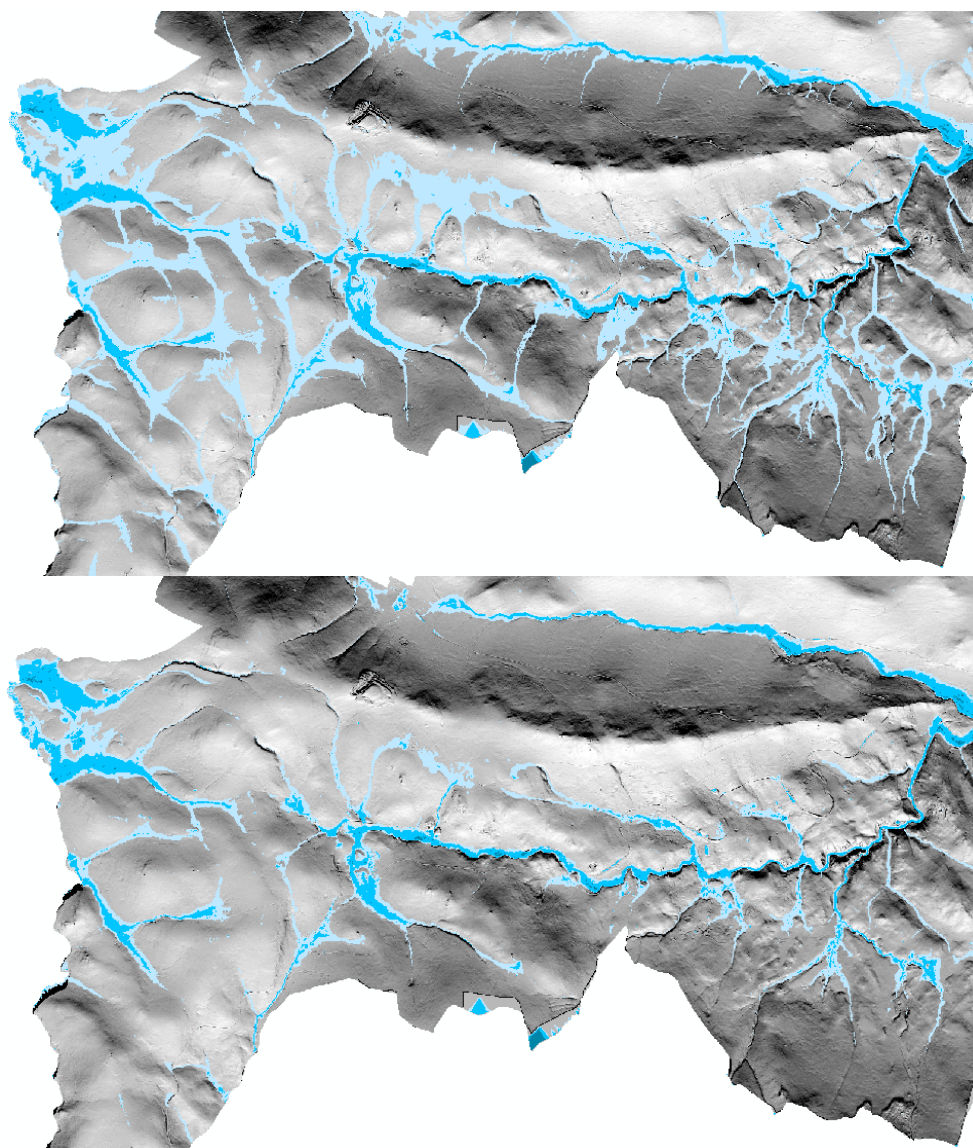
DTW a poziom zalegania wód gruntowych

Dysponując szczegółową siecią cieków (ryc. 23) można przeprowadzić modelowanie poziomu wód gruntowych w całym ekosystemie (ryc. 24) oraz obliczyć odległość zwierciadła wód gruntowych od powierzchni gruntu. Poziom ten nazywany jest indeksem głębokości w metodzie DTW. Jeśli poziom ten jest blisko powierzchni, to tereny te są wilgotne, a jeśli zalegają głęboko pod powierzchnią to tereny są suche. W przeciwieństwie do tradycyjnych map, na których prezentowane są tylko wielkopowierzchniowe tereny podmokłe, mapy DTW wskazują również wilgotne obszary stref buforowych w pobliżu cieków i jezior.

Mapy DTW generowane są z wykorzystaniem dwóch progów: inicjacji cieków oraz indeksu DTW. Pierwszy próg determinuje, które cieki będą widoczne (ryc. 23). Wartość progu powinna uwzględniać specyfikę obszaru, gleby, topografii i klimatu. Wykorzystanie jednej wartości progowej dla całego kraju może spowodować otrzymanie zbyt dużej lub zbyt małej liczby cieków. Drugi z parametrów progowych, definiuje, które tereny zostaną zaklasyfikowane jako wilgotne. Zwykle są to gleby o indeksie mniejszym niż 1 m. Na mapach DTW, gleby o niskim indeksie DTW (< 1 m), czyli takie, gdzie odległość poziomu wód gruntowych od powierzchni gruntu wynosi < 1 m, zaznaczono kolorem ciemnoniebieskim (ryc. 25). Kolorem jasnoniebieskim zaznaczono obszary, na których odległość poziomu wód gruntowych od poziomu gruntu wynosi > 1 m (tereny suche).



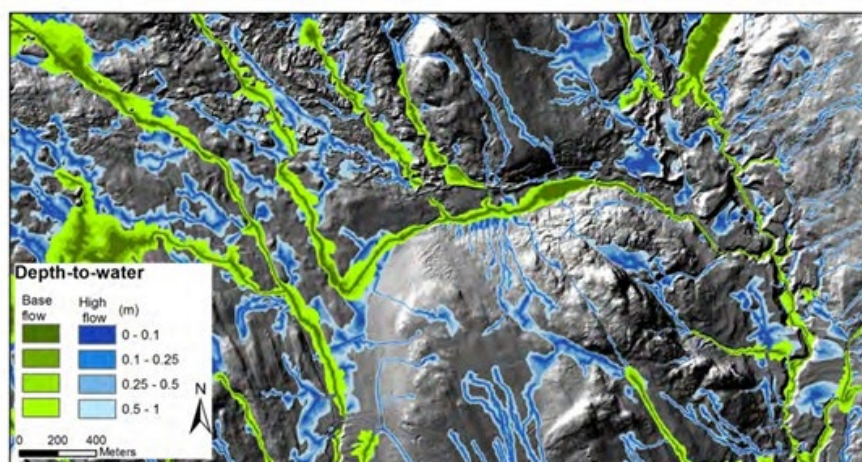
Ryc. 24. Poziom wód gruntowych modelowany jest w całym krajobrazie na podstawie sieci cieków, w tym tych najmniejszych. Następnie obliczana jest odległość od powierzchni gruntu do poziomu zalegania wód gruntowych. Jest to tzw. indeks DTW.



Ryc. 25. Mapy DTW przedstawiające sieć cieków w Szklarskiej Porębie (południowa Polska), podczas większego przepływu wód (górna mapa) i mniejszego przepływu (dolna mapa).

Mapy DTW – niskie i wysokie warunki przepływu

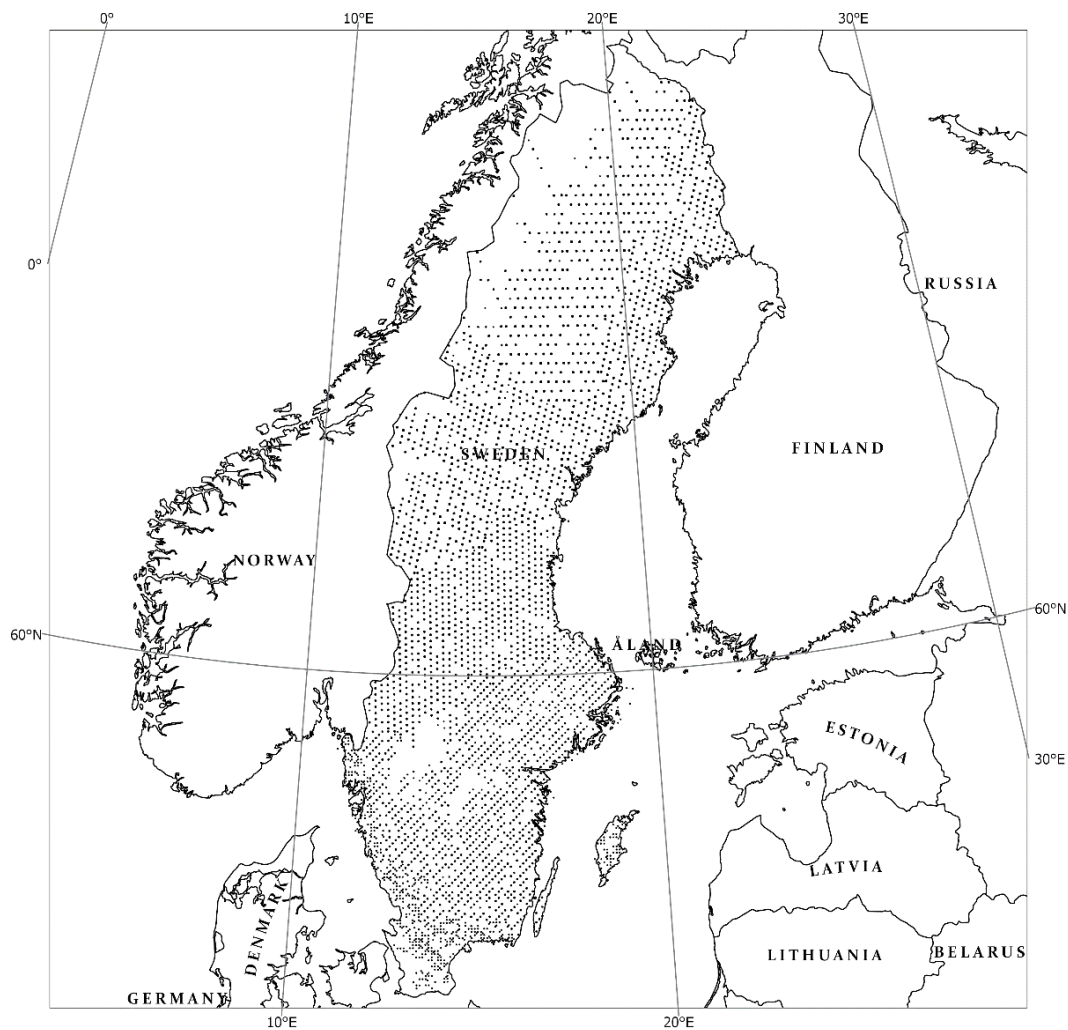
Większość cieków kurczy i rozszerza się w zależności od aktualnych warunków pogodowych (ryc. 25). Mapy DTW mogą zostać wykorzystane do zilustrowania tego zjawiska. Obszary zielone przedstawiają tereny, które mogą być wilgotne w warunkach niskiego przepływu, a obszary niebieskie - w warunkach większego przepływu. Zarówno zielone jak i niebieskie obszary na mapach wskazują, gdzie należy unikać naruszenia gleby, aby chronić pobliskie cieki i jeziora przez zwiększonym dopływem cząstek mineralnych ze zerodowanej gleby, szkodliwych pierwiastków czy też nadmiaru składników odżywczych. W zależności od rodzaju gleby, wskazany na mapach obszar, może być mniejszy od rzeczywistego. Chociaż mapy dostarczają cennych informacji, to zaleca się również inspekcje terenowe, przed rozpoczęciem prac.



Ryc. 26. W okresach niskiego przepływu wody (przepływ bazowy) sieć cieków wodnych będzie się kurczyć do obszarów zaznaczonych na zielono, natomiast w okresie wysokiego przepływu sieć cieków wodnych i obszar z wilgotnymi glebami rozszerzy się do obszarów zaznaczonych na niebiesko.

1.6 Mapy terenów podmokłych opracowywane na podstawie uczenia maszynowego

W ostatnich latach w Szwecji prowadzono prace nad opracowaniem map terenów podmokłych, przy wykorzystaniu algorytmów uczenia maszynowego. W celu dostosowania map terenów podmokłych do różnych regionów, dysponując danymi o glebach, topografii oraz klimacie, a także danymi terenowymi skonstruowano algorytm, tak, aby łączył wszystkie dane w jedną mapę wynikową. W Szwecji, aby opracować mapy MLWAM, wykorzystano dane z 28 różnych map i dane glebowe pozyskane z 20 tys. powierzchni próbnych z inwentaryzacji stanu lasu (27a, 27b).



Rys. 27a. Modelowanie metodą MLWAM dla obszaru Szwecji. W pracach wykorzystano dane z 28 różnych map i dane glebowe pochodzące z 20 tys. powierzchni próbnych z inwentaryzacji stanu lasu Ilustracja pochodzi z pracy Lidberg i in. (2020)



Ryc. 27b. Mapa MLWAM przedstawia trzy klasy wilgotności gleb: suche (przezroczysta – tam gdzie ortofotomapa jest widoczna), okresowo wilgotne (jasnoniebieski) i wilgotne (ciemnoniebieski). Źródło: W.Lidberg

W Polsce rozpoczęto pracę nad modelowaniem terenów podmokłych z wykorzystaniem danych z Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Stanu Lasu (ryc.28a). Pierwsze próby modelowania przeprowadzone zostaną dla województw w północnej części Polski. Mapy wilgotności MLWAM przedstawiają trzy klasy wilgotności: suche, okresowo wilgotne i wilgotne (27b).

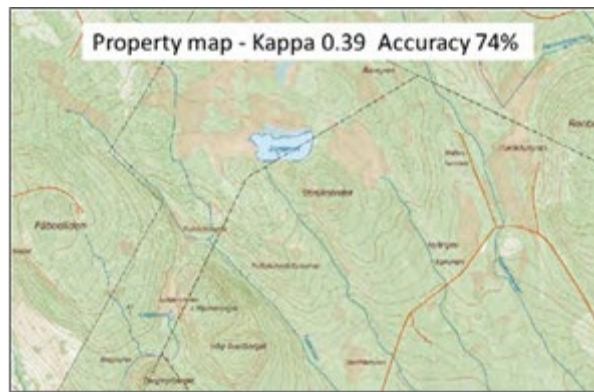
Wykorzystanie w modelu MLWAM danych glebowych, klimatycznych i topograficznych umożliwiło osiągnięcie lepszych rezultatów (dokładności) niż w mapach wilgotności utworzonych metodą DTW, które często przeszacowują tereny bardzo wilgotne lub bardzo suche.



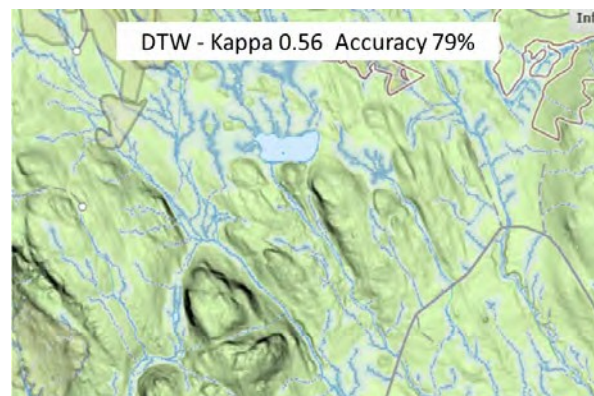
Ryc. 28. Modelowanie metodą MLWAM dla obszaru Polski zostanie przeprowadzone przy wykorzystaniu danych z Wielkoobszarowej Inwentaryzacji Stanu Lasu. Rozmieszczenie powierzchni przedstawiono przy pomocy kropek. Mapa wskazuje rozmieszczenie powierzchni próbnych, na obszarze Polski. Ilustracja M. Ciesielski.

1.7 Dokładność różnych rodzajów map

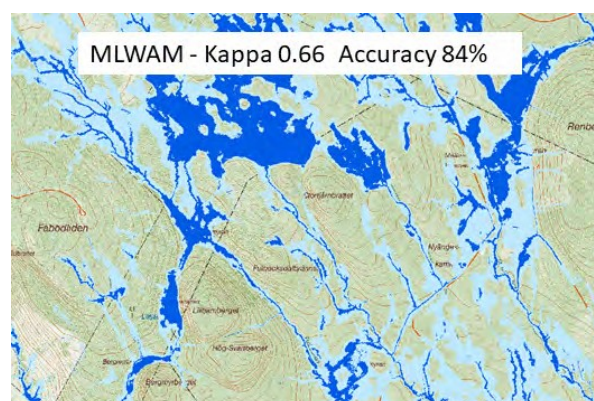
Mapy terenów podmokłych, przedstawiające sieć hydrologiczną na danym obszarze, charakteryzują się większą dokładnością niż tradycyjne mapy topograficzne. Poprzez porównanie danych z pomiarów terenowych i danych z map analogowych, można określić ich poprawność. Poprawność może być rozumiana jako dokładność całkowita lub wskaźnik Kappa (ryc. 29). Dokładność przyjmuje wartości od 0 do 100%, gdzie wartość 100% odpowiada całkowitej zgodności pomiędzy danymi terenowymi a mapą. Wskaźnik kappa przyjmuje wartości od 0 do 1, gdzie 1, oznacza pełną zgodność między danymi.



29A. Mapy topograficzne, takie jak przedstawiona obok Szwedzka mapa własności w skali 1:12 5000 są zwykle przygotowywane na bazie zdjęć lotniczych. Wskazują głównie większe ciek i większe tereny podmokłe. Wiele mniejszych cieków oraz terenów podmokłych, głównie pod okapem drzewostanu, pozostała niezidentyfikowana.



29B. W porównaniu do tradycyjnych map topograficznych, mapy terenów podmokłych metodą DTW, są bez wątpienia dokładniejsze, co jest widoczne zarówno w dokładności jak i współczynniku Kappa. Poprawnie wskazywane są mniejsze strumienie i wilgotne gleby wokół nich, natomiast np. większe torfowiska wciąż pozostają niezidentyfikowane. Metoda DTW może również, w niektórych regionach, przedstawiać glebę, jako zbyt mokrą lub zbyt suchą.



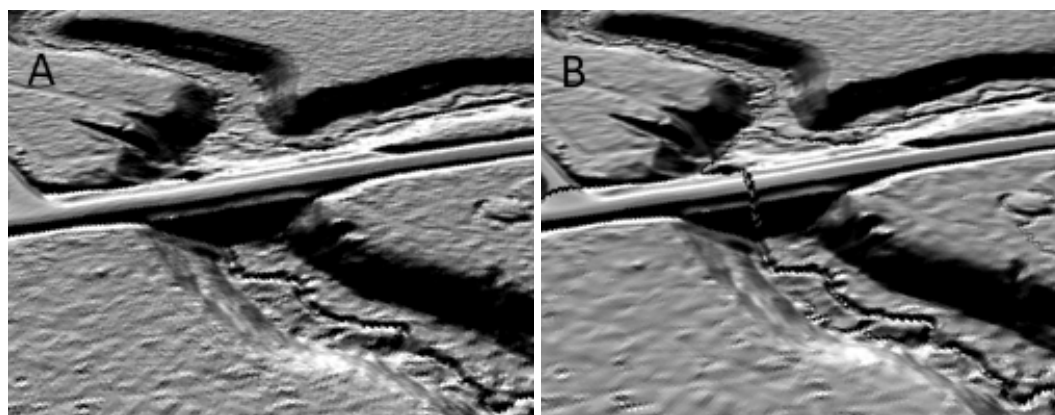
29C. Uczenie maszynowe umożliwia osiągnięcie największej dokładności map terenów podmokłych. Jest to widoczne w wartościach współczynnika Kappa oraz dokładności całkowitej. MLWAM do modelowania wykorzystuje nie tylko dane z topografii, ale również dane klimatyczne i glebowe. W Szwecji prace nad mapami MLWAM zostaną zakończone podczas trwania projektu i dane będą dostępne do bezpłatnego pobrania.

Ryc. 29A-C. Przegląd dokładności tradycyjnych map topograficznych (29A), mapy terenów podmokłych metodami DTW (29B) oraz MLWAM (29C). Dokładność map określono na podstawie dwóch klas wilgotności przy wykorzystaniu dokładności całkowitej oraz współczynnika Kappa.

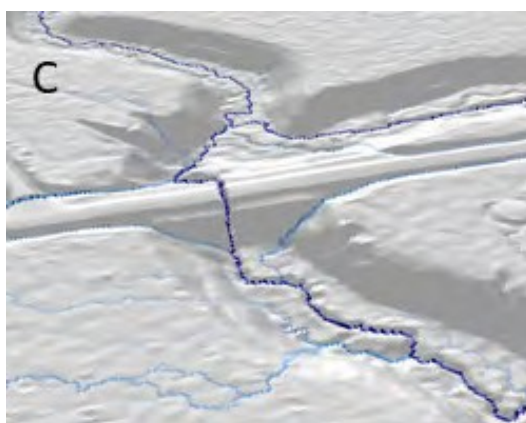
1.8 Ograniczenia map terenów podmokłych

Pomimo że, cyfrowe mapy terenów podmokłych charakteryzują się większą dokładnością niż tradycyjne mapy topograficzne, nie są jednak bezbłędne. Średnia dokładność map cyfrowych na poziomie 80%, oznacza, że 20% mapy zawiera błędne informacje. Większość niepoprawnych wyników znajduje się w pobliżu dróg. Wykorzystanie numerycznego modelu terenu, powoduje, że drogi traktowane są w nim jak sztuczne bariery, podczas gdy w rzeczywistości strumienie przepływają pod drogami przez odpowiednie przepusty czy pod mostami. Ten problem można w dużym stopniu rozwiązać, stosując automatyczne narzędzia do przetwarzania modeli terenu, które zaimplementowane są w większości darmowych programów GIS (ryc. 30). Algorytmy te zwykle działają poprawnie, jednak (jak widać na ryc. 30) również po ich zastosowaniu wynik przetworzeń może pozostawiać błędy. Wynika to z faktu, iż lokalizacja wszystkich mostów i przepustów nie jest dobrze znana.

Kolejnym źródłem błędów jest wybór tzw. progu inicjacji strumienia (ryc. 23). Definiując próg w sposób nieprawidłowy można doprowadzić do sytuacji, że mniejsze ciek wodne nie będą widoczne na mapach terenów podmokłych lub przeciwnie - będzie ich zbyt dużo. Dlatego, zawsze przed rozpoczęciem prac w terenie warto skonfrontować wyniki analiz z rzeczywistą sytuacją w terenie.



30A. W modelu 3D droga działa jak sztuczna tama. 30B. Dzięki narzędziom automatycznego przetwarzania modeli 3D, np. narzędziu „wypalania”, drogi nie stanowią bariery dla przepływu wody.

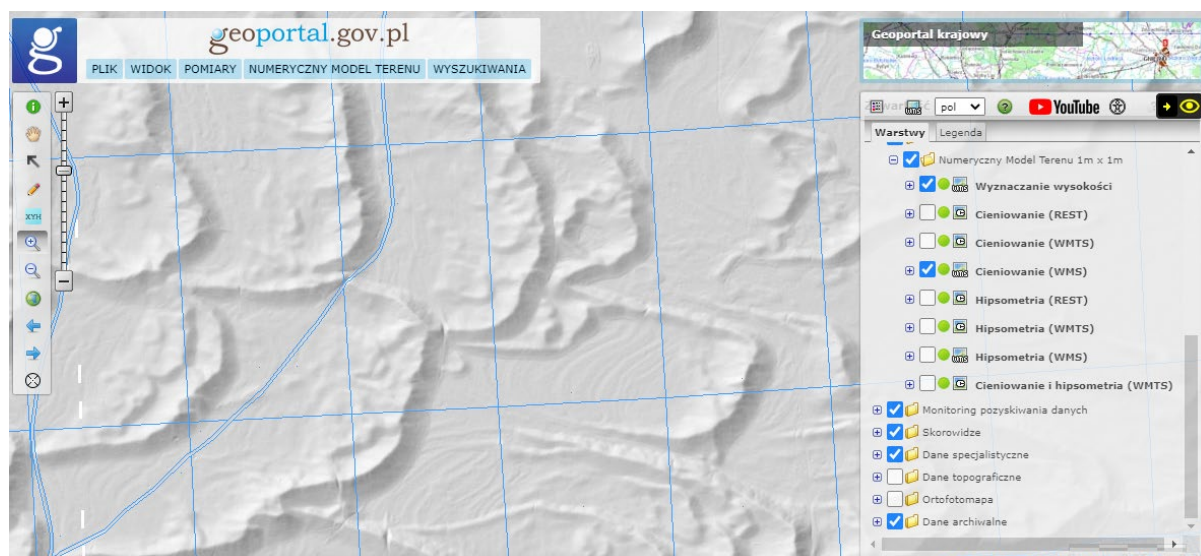


30C. Po „wypaleniu dróg” woda nie jest przez nią zatrzymywana i przepływa na drugą stronę, a więc ciek wodny biegnie swoim przebiegiem.

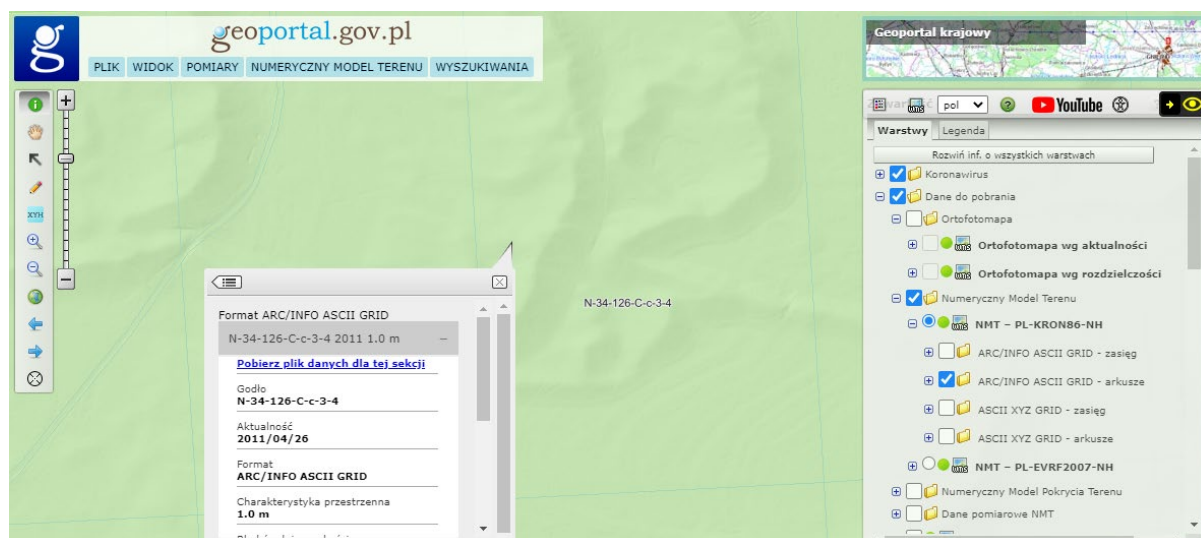
Ryc. 30A-C. W wyniku przetworzenia numerycznego modelu terenu, odpowiednimi algorytmami, woda może swobodnie przemieszczać się po cyfrowym krajobrazie. Zwykle drogi w modelach terenu są delikatnie wypiętrzone, przez co są błędnie interpretowane przez algorytm jako tamy. Wykorzystanie narzędzia „wypalania” umożliwia ciekowi wodnym przepłynięcie pod drogą, przez co zmniejsza się ilość błędów na mapach terenów podmokłych.

1.9 Dane do wykonania map terenów podmokłych

Jak już wielokrotnie wspomniano, mapy terenów podmokłych metodą DTW lub przy pomocy uczenia maszynowego, wykonywane są na podstawie dokładnych numerycznych modeli terenu. Obecne technologie geoinformatyczne umożliwiają wykonanie modeli terenu z dokładnością wysokościową wynoszącą do 20 cm. Mowa tu przede wszystkim o lotniczym skanowaniu laserowym. Dla obszaru Polski dane z lotniczego skanowania laserowego zostały pozyskane w ramach projektu Informatycznego Systemu Osłony Kraju. Choć aktualność danych wynosi już kilka lat, to z powodzeniem mogą one być wykorzystywane na potrzeby modelowania, zwłaszcza na terenach leśnych, gdzie nie obserwuje się wielu zmian w ukształtowaniu terenu. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi, dane przestrzenne z zasobu centralnego są udostępniane w sposób bezpłatny. Można je pozyskać ze strony geoportalu krajowego (geoportal.gov.pl). Na stronie geoportalu można znaleźć zarówno dane w postaci surowej – chmurę punktów, jak również przetworzone - w postaci numerycznego modelu terenu i numerycznego modelu pokrycia terenu o rozdzielczości 1 m (ryc. 31, 32, 33). Na potrzeby modelowania i generowania map terenów podmokłych rozdzielczość 2 m jest wystarczająca. Generowanie map terenów podmokłych można wykonywać w różnych programach GIS. W projekcie WAMBAF Tool Box wykorzystywano algorytmy zaimplementowane w programie WhiteBox (<https://jblindsay.github.io/ghrg/Whitebox/>).



Ryc. 31. Widok geoportalu krajowego. W panelu danych dostępne są numeryczne modele terenu do pobrania oraz ich przetworzenia, np. cieniowana rzeźba terenu.



Ryc. 32. Widok geoportalu krajowego. Po wyborze danych do pobrania (menu warstwy), można pobrać wybrane dane w sposób manualny (pojedyncze pliki) lub przy pomocy specjalnie skonstruowanych zapytań.



Ryc. 33. W repozytorium QGIS dostępna jest wtyczka, skonstruowana przez firmę Enviroresolution, która umożliwia pobieranie danych wysokościowych z geoportalu w automatyczny i intuicyjny sposób z poziomu programu QGIS.

Mapy terenów podmokłych w rejonie Morza Bałtyckiego – najważniejsze informacje

- Mapy DTW pierwszy raz zostały opracowane w Kanadzie na Uniwersytecie w Nowym Brunswiku (<https://blogs.unb.ca/afrc-research-highlights/2019/05/wet-areas-mapping.php>).
- W rejonie Morza Bałtyckiego, pierwsze prace nad wprowadzeniem map DTW do praktyki leśnej podjęto w Szwecji w 2014 r.
- W 2016 r. Szwedzka Agencja Leśna opracowała mapy DTW dla całego kraju.
- W ramach projektu unijnego WAMBAF Tool Box mapy DTW zostaną opracowane w Finlandii, Łotwy i Polski.
- W latach 2015-19, mapy terenów podmokłych, opracowywano w SLU w Szwecji, przy wykorzystaniu algorytmem uczenia maszynowego o nazwie MLWAMs (<http://www.slu.se/mfk/>). Mapy MLWAM dla całej Szwecji będą dostępne na przełomie 2020-21 r.
- Podczas projektu WAMBAF Tool Box, wiedza na temat algorytmu MLWAM została przekazana również partnerom projektu z Finlandii, Łotwy i Polski. Podejmą oni próbę opracowania map terenów podmokłych, przy wykorzystaniu tego algorytmu.

Doświadczenia leśników ze Szwecji i Finlandii w pracy z mapami terenów podmokłych

Od pewnego czasu mapy DTW wykorzystywane są w leśnictwie w Szwecji i Finlandii. Z punktu widzenia użyteczności tych map, istotna jest opinia osób, które korzystają z nich w codziennej pracy. W tym celu w 2019 i 2020 r., przeprowadzono ankietę wśród pracowników sektora leśnego. Grupa ankietowanych osób obejmowała przedsiębiorców leśnych, planujących prace, operatorów maszyn leśnych, wykonawców prac, osób i organów decyzyjnych ze Szwecji i Finlandii, którzy używali map DTW (w różnych dostępnych wersjach) w ostatnich latach. Większość odpowiedzi dotyczyła kwestii związanych z trzebieżami i cięciami rębny. Ankietowani wskazali, że mapy DTW generalnie bardzo dobrze sprawdzają się w pracy w terenie i charakteryzują się dużą dokładnością. Podkreślili również, że błędy w dokładności zdarzają się głównie na torfowiskach i terenach płaskich.

Leśnicy wykorzystywali mapy DTW zarówno do planowania działań, jak również podczas prac maszyn leśnych. Mapa może być na przykład wykorzystana przez operatora maszyny do określenia, czy pozostałości zrębowe powinny być zbierane, czy też używane do ochrony gleby. Mapy służyły również do planowania sieci dróg, miejsc przejazdu przez cieki wodne, lokalizacji składnic, działań ochronnych a także identyfikacji powierzchni, gdzie pozyskanie drewna będzie łatwe a gdzie utrudnione ze względu na warunki wilgotnościowe.

W ankietach podkreślono, że wprowadzenie do użytku map DTW uprościło proces planowania sieci zbiorczych szlaków zrywkowych i umożliwiło wcześniejsze rozpoczęcie planowania, przed rozpoczęciem pozyskiwania drewna. Planowanie terenowe było bardziej wydajne, gdy wstępna identyfikacja obszarów o niskiej nośności gruntu odbywała się na podstawie mapy DTW. Planowanie systemu dróg mogło się wówczas koncentrować się na terenach poza obszarami podmokłymi.

Ankietowani leśnicy przedstawili również sugestie dotyczące tego, w jaki sposób można poprawić dokładność i informacyjność map wilgotności. Wskazali oni, że warto do mapy dodać informacje o hydrologii, rodzaju gleby, informacje drzewostanowe (np. wiek), granice wydzieli leśnych, biomasę korzeni i warstwie. Zaproponowano również dodanie funkcji prezentującej aktualne, lokalne informacje pogodowe.

Więcej komentarzy i uwag od użytkowników map, zaprezentowano poniżej. Odpowiedzi zostały zredagowane przez autorów oryginalnej wersji podręcznika.

Komentarze leśników i osób związanych z leśnictwem

Przykłady zastosowania map DTW

- „Po przyjeździe na powierzchnię, włączam mapę DTW i patrzę na nachylenie terenu. Często przełączam się między ortofotomapą a mapą DTW.”
- „Kiedy otrzymuję instrukcje dotyczące powierzchni cięć, włączam mapę DTW i patrzę na warstwie. Daje to całkiem dobry przegląd terenu.”
- „Przed wyjazdem w teren, włączam mapę DTW. Natomiast już na miejscu sprawdzam jej dokładność. Czasami zabieram ze sobą również wersję papierową mapy. Po powrocie do biura aktualizuję mapę, aby upewnić się, że te informacje są dostępne na mapach w maszynach leśnych.”
- „Staram się unikać map terenów podmokłych. Zbiorcze szlaki zrywkowe planuję na terenach, jak najwyżej położonych w stosunku do terenów podmokłych. Przejazdy przez takie tereny próbuję ulokować w najwyższych miejscach”
- „Nie planuję prac na obszarach niebieskich ani obszarach otoczonych przez niebieskie obszary.”
- „Podczas planowania prac, korzystam z map DTW i określam możliwe przebiegi zbiorczych szlaków zrywkowych, przejazdów przez cieki wodne itp. Operatorzy maszyn leśnych są przeszkoleni w zakresie wykorzystywania map DTW. Niezbędne jest również oznaczenie próbek glebowych w terenie w celu potwierdzenia danych.”
- „Wstępny plan prac, opracowuję w biurze. Następnie podczas wizyty terenowej, porównuję informację z tymi na mapach DTW. Zwracam szczególną uwagę na rodzaj gleby, roślinność w runie leśnym i topografię. Nie planuję miejsc składowania drewna na

terenach podmokłych. Zbiorcze szlaki zrywkowe staram się prowadzić poza terenami podmokłymi, gdy nie jest to możliwe staram się by były wykorzystane tylko raz.”

Jakie działania były podejmowane w przypadku wystąpienia terenów podmokłych na mapach DTW?

- „Przejazd po terenach podmokłych jest oczywiście możliwy. Jeżeli przejeżdżasz po tych obszarach, wykorzystaj pozostałości zrębowe do ochrony gleby”
- „Staraj się nie przejeżdżać przez niebieskie (podmokłe) obszary. Jeżeli przejazd przez nie jest niezbędny, spróbuj znaleźć jak najlepszą lokalizację”
- „Obszary zaznaczone na niebiesko nie muszą być bezwzględnie wyłączone z ruchu, ale wtedy mogą być potrzebne „szlaki widmowe” lub inne środki.
- ”Jeśli forwarder musi zebrać drewno, powinien przejechać tylko raz”

Porady dla osób zaczynających pracę z mapami terenów podmokłych

- „Naucz się, jak korzystać z mapy, wychodząc w teren i porównując mapę z tym, co widzisz.”
- ” Po prostu zacznij z nich korzystać, z pewnością. Są przydatne do skoncentrowania pracy w terenie na potencjalnych „gorących punktach””
- „Przeanalizuj występowanie zielonych i szarych obszarów, w celu wyboru najlepszych tras przejazdu. Jeżeli musisz przejechać przez niebieski obszar, upewnij się, że robisz to w największym możliwym miejscu.”
- „Poświęć trochę czasu na zrozumienie i umiejscowienie zbiorczych szlaków zrywkowych, do których można dodać krótkie przedłużenia, jeśli obszar jest podmokły.”
- „Przed rozpoczęciem pozyskania drewna w terenie, zapoznaj się raz jeszcze z mapą, gdyż planowane w biurze trasy mogą być obciążone błędem.”
- „Podobne oznaczenia na mapach DTW mogą oznaczać inne rzeczy na różnych typach gleb. Istotne jest, aby interpretacje/kalibracje map podeprzeć wieloma wizytami w terenie, zwłaszcza w miejscach, gdzie występuje duże zróżnicowanie gleb.”
- „Nie polegaj wyłącznie na informacjach przedstawionych na mapie. Unikaj natomiast miejsc, które już na pierwszy rzut oka wydają się terenami podmokłymi.”
- ”Staraj się jeździć tylko po terenach położonych wyżej i z dala od obszarów podmokłych.”

Więcej informacji / Bibliografia

- Ågren, A.M., Lidberg, W. & Ring, E. 2015. Mapping temporal dynamics in a forest stream network—implications for riparian forest management. *Forests* 6, 2982-3001.
- Čížek, J. 1988. Biotechniczne podstawy mechanizacji produkcji leśnej. PWRiL. Warszawa.
- Kuglerová, L., Ågren, A., Jansson, R. & Laudon, H. 2014. Towards optimizing riparian buffer zones: Ecological and biogeochemical implications for forest management. *Forest Ecology and Management* 334, 74-84.
- Laudon, H., Kuglerová, L., Sponseller, R.A., Futter, M., Nordin, A., Bishop, K., Lundmark, T., Egnell, G. & Ågren, A.M. 2016. The role of biogeochemical hotspots, landscape heterogeneity, and hydrological connectivity for minimizing forestry effects on water quality. *Ambio* 45, 152-162.
- Lidberg, W., Nilsson, M. & Ågren, A. 2020. Using machine learning to generate high-resolution wet area maps for planning forest management: A study in a boreal forest landscape. *Ambio* 49, 475-486.
- Ring, E., Andersson, E., Armolaitis, K., Eklöf, K., Finér, L., Gil, W., Glazko, Z., Janek, M., Lichte, Z., Lode, E., Małek, S. & Piirainen, S. 2018. Good practices for forest buffers to improve surface water quality in the Baltic Sea region. Skogforsk Arbetsrapport 995.



Więcej informacji na temat jak chronić wodę na terenach leśnych przed negatywnym wpływem działań związanych z prowadzeniem prac leśnych, można znaleźć na YouTube. Instruktażowy film „Traceless” dostarcza informacji jak mapy terenów podmokłych mogą być wykorzystane w praktyce: <https://www.youtube.com/watch?v=xauLNORS4m0>. Film „Forest and water” wyjaśnia jak leśnictwo może wpływać na jakość wód i jakie czynności można podejmować aby uniknąć negatywnego wpływu na jakość wód: <https://www.youtube.com/watch?v=GuhLnBJAGlg>. Zdjęcie L. Högbom.