

Dorota GAWROŃSKA
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
dorota.gawronska@polsl.pl

ANALIZA I WYBÓR LOKALIZACJI STACJI METEOROLOGICZNEJ NA PODSTAWIE ZASAD OBOWIĄZUJĄCYCH W PAŃSTWOWEJ SŁUŻBIE HYDROLOGICZNO-METEOROLOGICZNEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono czynniki wpływające na wyniki pomiarów stacji meteorologicznej ze względu na jej lokalizację. Dotychczasowa procedura analizy lokalizacji opierała się na przydzieleniu stacji do jednej z pięciu klas ze względu na wpływ czynników zniekształcających pomiar danego elementu meteorologicznego. W pracy zaproponowano strukturę hierarchiczną kryteriów oceniającą lokalizację dla stacji meteorologicznej z uwzględnieniem ważności kryteriów. Na tej podstawie umożliwiono określenie optymalnej lokalizacji dla stacji meteorologicznej ze względu na przyjęte kryteria oraz ich wpływu na ocenę końcową.

Słowa kluczowe: meteorologia, stacje meteorologiczne, czynniki wpływające na pomiary stacji meteorologicznych, źródła błędów pomiarowych, wielokryterialność

ANALYSIS AND SELECTION OF LOCATION OF METEOROLOGICAL STATION ON THE BASIS OF PRINCIPLES APPLICABLE IN THE STATE HYDROLOGICAL AND METEOROLOGICAL SERVICE

Abstract. The article presents the factors affecting the results of meteorological station measurements due to its location. The previous location analysis procedure was based on assigning stations to one of five classes due to the influence of factors that distort the measurement of a given meteorological element. The paper proposes a hierarchical structure of criteria assessing the location of the meteorological station, taking into account the validity of the criteria. On this basis, it was possible to determine the optimal location for the meteorological station due to the adopted criteria and their impact on the final grade.

Keywords: meteorology, meteorological stations, factors affecting measurements of meteorological stations, sources of measurement errors, multicriteria

1. Wstęp

Pomiary i obserwacje meteorologiczne dostarczają informacje o wynikach pomiarów i obserwacji stanu fizycznego dolnych warstw atmosfery służących prognozowaniu pogody, charakterystyce klimatu na danym obszarze i są źródłem wiedzy o zróżnicowanych procesach zachodzących w atmosferze [6]. Obserwacje i pomiary meteorologiczne dokonywane są stacjach meteorologicznych. Podstawowy zestaw przyrządów to klatka meteorologiczna z kompletem termometrów, wiatromierz, deszczomierze, termometry gruntowe, heliograf, ewentualnie przyrządy do pomiarów promieniowania słonecznego. Stacje te dokonują co najmniej 8 pomiarów w ciągu doby obserwacji i pomiarów meteorologicznych i na ich podstawie przygotowywane są prognozy pogody na najbliższe dni oraz komunikaty o niekorzystnych procesach jak przymrozki, mgła, silne wiatry itp. Prognozy opracowuje się na podstawie ciśnienia atmosferycznego i jego tendencji, kierunku i prędkości wiatru, temperatury powietrza na różnych wysokościach, temperatura gruntu na różnych głębokościach, wilgotności powietrza, zachmurzenia nieba, wysokości opadów atmosferycznych, widoczności, przezroczystości i zanieczyszczenia powietrza, parowanie z powierzchni ziemi, wysokość podstawy chmur itp. Aby wyniki były wiarygodne, stacje meteorologiczne powinny być usytuowane według wytycznych określonych przez Państwową Służbę Hydrologiczno – Meteorologiczną. Dotychczas przy wyborze optymalnej reprezentatywności lokalizacji opierano się na klasyfikacji osobno do jednej z pięciu klas ze względu na: pomiar temperatury i wilgotności powietrza, wysokości opadów atmosferycznych, kierunku i prędkości wiatru, natężenia całkowitego i rozproszonego promieniowania słonecznego oraz natężenia bezpośredniego promieniowania słonecznego i usłonecznienia [3]. Celem niniejszej pracy było utworzenie jednolitej struktury analizy i oceny lokalizacji stacji, która określa optymalny wybór lokalizacji jednocześnie na podstawie wszystkich pomiarów określonych dotychczasowo dla pojedynczej klasy. Wynikiem jest otrzymanie informacji o wyborze optymalnej lokalizacji spośród rozpatrywanych wariantów.

2. Kryteria oceny lokalizacji stacji meteorologicznej

Dla analizy lokalizacji stacji meteorologicznej określono strukturę kryteriów i podkryteriów. Opracowano ją na podstawie wymagań określonych Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej [3]:

1. Wysokość ekspozycji przyrządu pomiarowego nad poziomem gruntu - kontrola wysokości przyrządu pomiarowego zgodnie z zaleceniami WMO lub w przypadku ich

- braku – z obowiązującymi w PSHM. Pomiary powinny odbywać się na wysokości 125-200 cm n.p.g (w PSHM ustalona wysokość to 200 cm n.p.g.).
2. Rzeźba terenu bezpośrednio otaczającego stanowisko pomiarowe (kontrola terenu ze względu na jego wyrównanie, czyli: czy charakteryzuje się brakiem zagłębień i wyniosłości jak rowy, pnie, krzewy oraz czy teren jest poziomy, bez nachylenia i ocena, na ile nachylenie terenu odbiega od poziomu traktowanego jako pożądane oraz ocena lokalizacji na tle ogólnej rzeźby terenu pod kątem czy stanowisko będzie znajdowało się na wzniesieniu, na dnie zagłębienia lub w sąsiedztwie nagłych zmian wysokości terenu).
 3. Odległość od sztucznych źródeł ciepła i powierzchni odbijających promieniowanie słoneczne jak budynki, mury, drogi, autostrady, parkingi, chodniki, obszary zabudowane, tereny przemysłowe, powierzchnie skalne, ciepłociągi naziemne i podziemne.
 - a) do 30 m od stacji nie może być żadnych obiektów budowlanych,
 - b) w odległości 30-100 m mogą znajdować się pojedyncze, małe budynki i roślinność, ale ich 10-krotność wysokości nie powinna być większa niż odległość od stacji,
 - c) w odległości 100-300 m od stacji może istnieć zabudowa i sady do wysokości pierwszego piętra
 - d) dopiero powyżej 500 m od stacji może znajdować się zwarta zabudowa, nie tworząc jednak zwartej kręgi.
 4. Wysokość roślinności w otoczeniu stanowiska pomiarowego:
 - a) do 30 m od stacji nie może być drzew, krzewów i upraw sztucznie zraszanych,
 - b) w odległości 30 -100 m mogą znajdować się pojedyncza roślinność, ale ich 10-krotność wysokości nie powinna być większa niż odległość od stacji,
 - c) w odległości 100-300 m od stacji mogą istnieć sady, ale podobnie jak zabudowa, do wysokości pierwszego piętra,
 - d) zwarte zespoły drzew mogą znajdować się nie bliżej niż 300 m od stacji.
 5. Szorstkość terenu - szorstkość S jest definiowana jako wysokość nad poziomem ziemi, na której prędkość wiatru jest zredukowana do wartości 0 m/s na skutek oddziaływania podłoża na ruchy powietrza, a więc strumień powietrza jest całkowicie wyhamowany. Poniżej przedstawiona jest klasyfikacja szorstkości terenu:

Tabela 1

Charakterystyka klas szorstkości terenu

Klasa szorstkości	Szorstkość S długość [m]	Rodzaj terenu
0	0,0005	Teren płaski otwarty, na którym wysokość nierówności jest mniejsza od 0,5 m
1	0,007	Teren płaski otwarty lub nieznacznie pofalowany. Mogą występować pojedyncze zabudowania lub drzewa w dużych odległościach od siebie
2	0,01	Teren płaski lub pofalowany z otwartymi dużymi przestrzeniami. Mogą występować grupy drzew lub niska zabudowa w znacznej odległości od siebie
3	0,015	Teren z przeszkodami, tj. tereny zalesione, przedmieścia większych miast oraz małe miasta, tereny przemysłowe luźno zabudowane
4	0,25	Teren z licznymi przeszkodami w niedużej odległości od siebie, tj. skupiska drzew, budynków w odległości min. 300 m od miejsca obserwacji
5	0,35	Teren z licznymi dużymi przeszkodami położonymi blisko siebie, obszary leśne, centra dużych miast

Zródło: Gumuła S., Knap T., Strzelczyk P., Szczerba Z.: Energetyka wiatrowa. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo- Dydaktyczne, AGH, Kraków 2006.

6. Udział powierzchni nienaturalnych w otoczeniu stacji meteorologicznej. Określono następujące możliwości odległości od klatki meteorologicznej: do 1% w promieniu 5 m, do 1% w promieniu 10 m, do 5% w promieniu 5-10 m, do 5% w promieniu 10-30 m, do 5% w promieniu 5 m, do 10% w promieniu 5-10 m, do 10% w promieniu 10-30 m, do 10% w promieniu 30-100 m, do 30% w promieniu do 3 m i do 50% w promieniu 3-10 m.
7. Odległość od jezior, oczek wodnych (nienaturalnego dla danego mezoregionu).
8. Wysokość zasłonięcia horyzontu od strony NE - NW
9. Wysokość obiektów osłaniających ekspozycję deszczomierzy
10. Kąt zasłonięcia horyzontu przez przeszkodę w odniesieniu do pomiarów kierunku i prędkości wiatru.
11. Kąt zasłonięcia horyzontu przez przeszkodę w odniesieniu natężenia całkowitego i rozproszonego promieniowania słonecznego.
 - a) dla albedo¹ poniżej 50%
 - b) dla albedo powyżej 50%

Przedstawione kryteria stanowią są podstawą przedstawionej w kolejnym punkcie wielokryterialnego modelu wyboru optymalnej lokalizacji stacji meteorologicznej.

¹ Albedo - stosunek ilości promieniowania odbitego do padającego. Jest parametrem określającym zdolność odbijania promieni przez daną powierzchnię (<https://pl.wikipedia.org/wiki/Albedo>).

3. Hierarchiczny model oceny lokalizacji stacji meteorologicznych

Na podstawie opisanych kryteriów w pkt. 2 pracy, przyjęto następujące oznaczenia ocen lokalizacji w ramach poszczególnych kryteriów:

1. Wysokość ekspozycji przyrządu pomiarowego nad poziomem gruntu WE_i (ocena kryterium *Poziomu 1*)
2. Rzeźba terenu bezpośrednio otaczającego stanowisko pomiarowe RT_i (ocena kryterium *Poziomu 1*)
3. Odległość od sztucznych źródeł ciepła i powierzchni odbijających promieniowanie słoneczne O_i (ocena kryterium *Poziomu 1*) i jego podkryteria *Poziomu 2*:
 - a) do 30 m od stacji O_{30-i}
 - b) w odległości 30 -100 m $O_{30-100-i}$
 - c) w odległości 100-300 m $O_{100-300-i}$
 - d) powyżej 500 m od stacji O_{500-i}
4. Wysokość roślinności w otoczeniu stanowiska pomiarowego WR_i (ocena kryterium *Poziomu 1*) i jego podkryteria *Poziomu 2*:
 - a) do 30 m od stacji WR_{30-i}
 - b) w odległości 30 -100 m $WR_{30-100-i}$,
 - c) w odległości 100-300 m od stacji $WR_{100-300-i}$,
 - d) powyżej 300 WR_{300-i}
5. Szorstkość terenu - SZ_i (ocena kryterium *Poziomu 1*)
6. Udział powierzchni nienaturalnych UPN_i (ocena kryterium *Poziomu 1*) i jego podkryteria *Poziomu 2*:
 - a) do 1% w promieniu 5 m UPN_{1-5-i} ,
 - b) do 1% w promieniu 10 m UPN_{1-10-i} ,
 - c) do 5% w promieniu 5 - 10 m $UPN_{5-5,10-i}$,
 - d) do 5% w promieniu 10 -30 m $UPN_{5-10,30-i}$,
 - e) do 5% w promieniu 5 m UPN_{5-5-i} ,
 - f) do 10% w promieniu 5 – 10 m $UPN_{5-5,10-i}$,
 - g) do 10% w promieniu 10 – 30 m $UPN_{10-10,30-i}$,
 - h) do 10% w promieniu 30 – 100 m $UPN_{10-30,100-i}$,

- i) do 30% w promieniu do 3 m UPN_{30-3-i} ,
 - j) do 50% w promieniu 3 – 10 m $UPN_{50-3,10-i}$.
7. Odległość od jezior, oczek wodnych OoJ_i (ocena kryterium *Poziomu 1*) i jego podkryteria *Poziomu 2*:
- a) do 10 m OoJ_{10-i} ,
 - b) 10 – 30 m $OoJ_{10-30-i}$,
 - c) 30 – 100 m $OoJ_{30-100-i}$,
 - d) powyżej 100 m OoJ_{100-i} .
8. Wysokość zasłonięcia horyzontu od strony NE – NW WzH_i
9. Wysokość obiektów osłaniających ekspozycję deszczomierzy WD_{ij} (ocena kryterium *Poziomu 1*)
10. Kąt zasłonięcia horyzontu przez przeszkodę w odniesieniu do pomiarów kierunku i prędkości wiatru $KZHW_i$ (ocena kryterium *Poziomu 1*)
11. Kąt zasłonięcia horyzontu przez przeszkodę w odniesieniu natężenia całkowitego i rozproszonego promieniowania słonecznego $KZHP_i$ (ocena kryterium *Poziomu 1*).
- a) dla albedo poniżej 50% $KZHP_{<50-i}$
 - b) dla albedo powyżej 50% $KZHP_{>50-i}$

Ze względu na możliwość zróżnicowania terenu ze względu można przyjąć ocenę punktową w ramach danego kryterium, którą określi specjalista.

Z uwagi na fakt uwzględniania ważności poszczególnych kryteriów i podkryteriów, wprowadzono zmienne opisujące ważności kryteriów. Ważność grup kryteriów *Poziomu 1*, dana jest w postaci zmiennej V_j (j -kryterium *Poziomu 1*). Zakłada się, że ważności kryteriów są określone na przedziale $[0,1]$ co związane jest z warunkiem, że suma wag kryteriów musi wynosić 1.

$$\sum_{j=1}^J V_j = 1. \quad (1)$$

Ważność kryteriów *Poziomu 2* (podkryteria kryteriów *Poziomu 1*) dana jest w postaci zmiennej V_{jk} (j - kryterium *Poziomu 1*, k - kryterium *Poziomu 2*). Podobnie jak w przypadku kryteriów *Poziomu 1*, ważności kryteriów są określone na przedziale $[0,1]$ i suma wag kryteriów musi wynosić 1.

$$\sum_{k=1}^K V_{jk} = 1. \quad (2)$$

W niniejszym artykule zakłada się, że tereny rozważane pod inwestycję w energetykę wiatrową należą do skończonego zbioru:

$$L = \{L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_I\}, \quad i = 1, \dots, M, \quad (3)$$

Ponieważ wartości ocen terenów względem poszczególnych kryteriów traktowane są jako stopień spełnienia przez i -ta lokalizację pewnego stanu idealnego w granicach danego kryterium należy dokonać normowania wartości tych ocen. Dla kryteriów, których wartość powinna być maksymalna w celu optymalnej wartości oceny lokalizacji, należy dokonać modyfikacji określonej wzorem [4]. Przykładowo dla kryterium wysokości ekspozycji przyrządu pomiarowego nad poziomem gruntu WE_i (*Poziom 1*) wzór opisujący normowanie jest następujący:

$$WE'_i = \frac{WE_i}{\max (WE_i)} \quad (4)$$

W przypadku kryterium nr 4, 6, 8 -11 zmienne powinny osiągać wartości jak najmniejsze w celu optymalizacji oceny lokalizacji stacji meteorologicznej, w związku z czym zmienne normowane są w następujący sposób (przykład dla kryterium WZH_1).

$$WZH'_i = \frac{1 - WZH_i}{\max (WZH_i)} \quad (5)$$

Po dokonaniu normowania zmienne WE'_i i WZH'_i są nowymi obowiązującymi zmiennymi odpowiednio WE_i i WZH_i .

Na podstawie określonych unormowanych ocen względem kryteriów *Poziomu 2* można w dalszej kolejności określić ważone oceny łączne terenów względem kryterium *Poziomu 1*, jako sumę ważoną ocen w ramach danej grupy kryteriów.

1. Ocena łączna w ramach kryterium odległości od sztucznych źródeł ciepła i powierzchni odbijających promieniowanie słoneczne O_i :

$$O_i = \frac{V_{31} \cdot O_{30-i} + V_{32} \cdot O_{30-100-i} + V_{33} \cdot O_{100-300-i} + V_{34} \cdot O_{500-i}}{V_{31} + V_{32} + V_{33} + V_{34}}. \quad (6)$$

2. Ocena łączna w ramach kryterium wysokości roślinności w otoczeniu stanowiska pomiarowego WR_{ij} :

$$WR_i = \frac{V_{41} \cdot WR_{30-i} + V_{42} \cdot WR_{30-100-i} + V_{43} \cdot WR_{100-300-i} + V_{44} \cdot WR_{500-i}}{V_{41} + V_{42} + V_{43} + V_{44}}. \quad (7)$$

3. Ocena łączna w ramach kryterium udziału powierzchni nienaturalnych UPN_{ij}

$$UPN_i = \frac{V_{61} \cdot UPN_{1-5-i} + V_{62} \cdot UPN_{1-10-i} + V_{63} \cdot UPN_{5-5,10-i} + V_{64} \cdot UPN_{5-10,30-i} + V_{65} \cdot UPN_{5-5-i} + V_{66} \cdot UPN_{5-5,10-i} + V_{67} \cdot UPN_{10-10,30-i} + V_{63} \cdot UPN_{10-30,100-i} + V_{69} \cdot UPN_{30-3-i} + V_{610} \cdot UPN_{50=3,10-i}}{V_{61} + V_{62} + V_{63} + V_{64} + V_{65} + V_{66} + V_{67} + V_{68} + V_{69} + V_{6,10}} \quad (8)$$

4. Ocena łączna w ramach kryterium odległości od jezior, oczek wodnych OoJ_{ij}

$$OoJ_i = \frac{V_{71} \cdot OoJ_{10-i} + V_{72} \cdot OoJ_{10-30-i} + V_{73} \cdot OoJ_{30-100-i} + V_{74} \cdot OoJ_{100=i}}{V_{71} + V_{72} + V_{73} + V_{74}} \quad (9)$$

5. Ocena łączna w ramach kryterium kąta zasłonięcia horyzontu przez przeszkodę w odniesieniu natężenia całkowitego i rozproszonego promieniowania słonecznego $KZHP_{ij}$

$$KXHP_i = \frac{V_{11,1} \cdot KXHP_{<50-i} + V_{11,2} \cdot KZHP_{>50-i}}{V_{11,1} + V_{11,2}} \quad (10)$$

Po określeniu ocen rozmytych względem poszczególnych podkryteriów, należy dokonać ponownego normowania ocen zgodnie z przykładem podanym we wzorze (4).

Po unormowaniu ocen łącznych w ramach kryteriów Poziomu 1, można wyznaczyć ocenę globalną lokalizacji stacji meteorologicznej OGL_i , uwzględniającą wszystkie kryteria Poziomu 1:

$$OGL_i = \frac{V_1 \cdot WE_i + V_2 \cdot RT_i + V_3 \cdot O_i + V_4 \cdot WR_i + V_5 \cdot SZ_i + V_6 \cdot UPN_i + V_7 \cdot OoJ_i + V_8 \cdot WZH_i + V_9 \cdot WD_i + V_{10} \cdot KZHW_i + V_{11} \cdot KZHP_i}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9 + V_{10} + V_{11}} \quad (11)$$

Na podstawie przedstawionego algorytmu każdy teren opisany jest liczbą OGL_i względem kryterium globalnego. Na podstawie otrzymanych wartości należy dokonać analizy porównawczej i określić kolejność lokalizacji, które począwszy od wartości największej najlepiej spełniają wymagania dla terenu stworzenia stacji meteorologicznej (im większa wartość oceny, tym wyższą ocenę otrzymuje dana lokalizacja).

4. Podsumowanie

Celem niniejszej pracy było zaproponowanie wielokryterialnego modelu wspierającego wybór optymalnej lokalizacji stacji meteorologicznej opierając się na czynnikach określonych przez Państwową Służbę Hydrologiczno - Meteorologiczną. Na podstawie kryteriów oraz wprowadzenia do modelu ich ważności pojawiła się możliwość uwzględniania istotności czynników przy ocenie lokalizacji. Model ten może być pomocny w dalszych pracach nad optymalnym lokalizowaniem terenu pod zagospodarowanie stacji meteorologicznej.

Bibliografia

1. Dubiniecki A. (red.): Meteorologia. Hydrologia. Ochrona Środowiska. Kierunki badań i problemy. Wydawnictwo Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2008.
2. Gumuła S., Knap T., Strzelczyk P., Szczerba Z.: Energetyka wiatrowa. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo- Dydaktyczne, AGH, Kraków 2006.
3. Instytut Meteorologii i Gospodarki wodnej. Państwowy Instytut Badawczy: Instrukcja dla stacji meteorologicznych. Wydawnictwo IMGW-PIB. Warszawa 2015.
4. Kaliszewski I.: Wielokryterialne podejmowanie decyzji. Wydawnictwo WNT. Warszawa 2009.
5. Michelson D., Einfalt T., Holleman I., Gjersten U., Friedrich K., Haase G., Lindsog M., Jurczyk A.: Kontrola jakości danych z radarów meteorologicznych w Europie. Wydawnictwo Instytut Meteorologii i Gospodarki wodnej. Warszawa 2007.
6. Rózdżyński K.: Metody określania zmienności charakterystyk urządzeń, układów i czujników termometrycznych automatycznych stacji meteorologicznych dla programu monitoringu jakości pomiarów. Wydawnictwo Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa 2017.
7. Woś A.: Meteorologia dla geografów. Wydawnictwo Naukowe UAM. Poznań 2006.