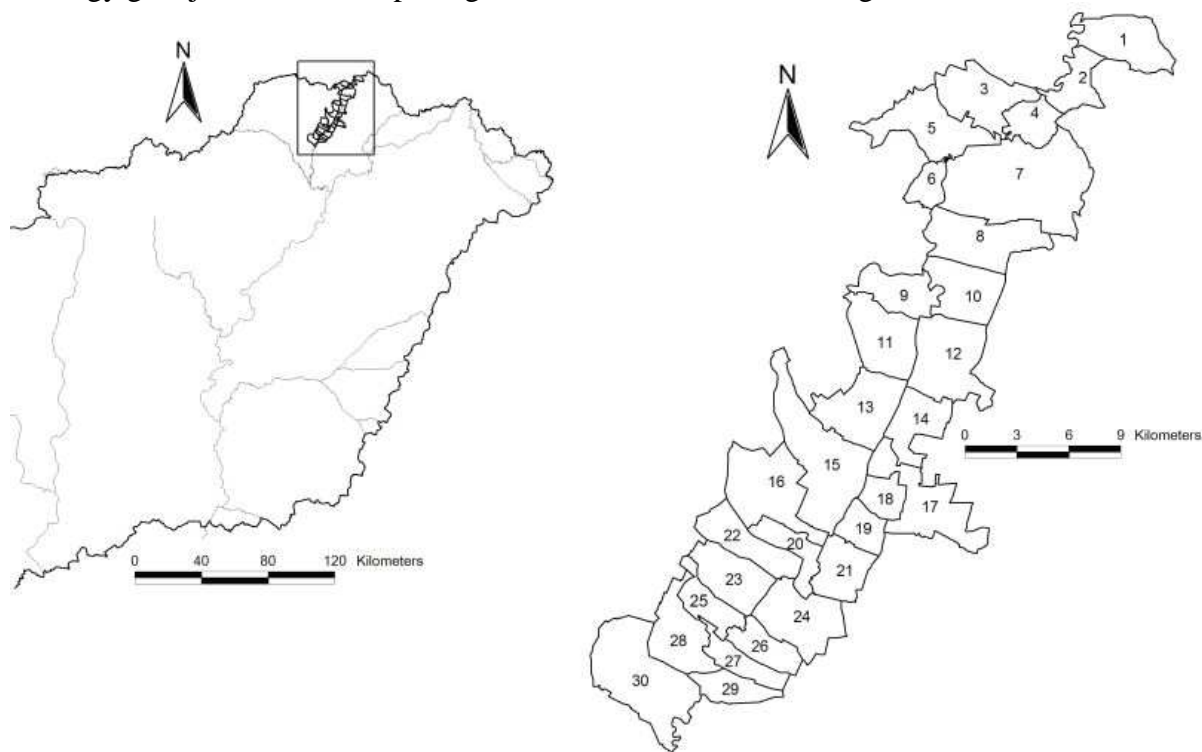


## ZÁRÓJELENTÉS

### Bevezetés

A Debreceni Egyetem Meteorológiai Tanszéke *A szél- és napenergia, valamint az energetikai célú biomassza hasznosításának éghajlati és társadalmi-gazdasági kérdései a Hernád-völgyben* című OTKA pályázat (K 75794) keretében 2009 második felében kezdte meg a szél- és napenergia, valamint az energetikai célú biomassza hasznosításának éghajlati és társadalmi-gazdasági kérdéseivel kapcsolatos kutatásait a Hernád-völgyben. A 2009. július 1 – 2012. szeptember 30 kutatási időszak legfontosabb eredményeit 18 publikációban foglaltuk össze, amelyekből 6 a 2012. június 7-én megtartott *A megújuló energiaforrások hasznosításának természeti, társadalmi és gazdasági lehetőségei a Hernád-völgyben* című záró konferencia kötetében szerepel. A projektben résztvevő kutatók közül egy fő a Babeş-Bolyai egyetem alkalmazottja, három fő a tanszék, kettő pedig a Miskolci Egyetem PhD hallgatója.

A kutatás során a Hernád-völgy (ld. 1. ábra) *társadalmi-gazdasági és éghajlati* adottságait vizsgáltuk tehát azzal a céllal, hogy megállapítsuk: ezek milyen mértékig segítik elő vagy gátolják a szél- és napenergia, valamint a biomassza energetikai célú hasznosítását.



1. ábra: A vizsgált terület és települései.

### Társadalmi-gazdasági kutatások

A társadalmi-gazdasági vizsgálatok révén számszerűsíthetők a megújuló energiák hasznosításából fakadó gazdasági előnyök és költséghatékonysági mutatók, feltárható a lakosság elfogadási hajlandósága.

Létrehoztuk a költséghatékonysági számításokhoz és a környezet-gazdaságtani vizsgálatok elvégzéséhez szükséges adatbázist, melynek bemenő paraméterei a KSH-tól és a MgSZH Erdészeti Igazgatóságtól beszerzett legfontosabb gazdasági-társadalmi, valamint az erdészeti biomasszára vonatkozó településsoros adatok. Az input információk másik hányadát az önkormányzatok vagyoni helyzetével, gazdasági tevékenységével kapcsolatos adatok teszik ki, melyeket a hivatalok bocsátottak a rendelkezésünkre. Az adatbázis elkészítésével,

valamint a jelenlegi szabályozó rendszer módszeres vizsgálatával együtt lehetőség nyílik a szél- és napenergia, valamint a biomassza hasznosítás gazdaságosságának meghatározására. Ezen források alapján feltártuk a Hernád-völgy 30 hátrányos helyzetű településének (ld. 1. táblázat) legfontosabb gazdasági-társadalmi adatait, valamint az erdészeti biomasszára vonatkozó adatokat. A vizsgált térség átlagadatait összehasonlítottuk a megyei, régiós és országos átlagadatokkal, különös figyelmet fordítva a foglalkoztatási adatokra, a nemzetgazdasági ágak arányaira, az infrastruktúrára, az egészségügyi alapellátásra, az oktatásra és a jövedelmi viszonyokra. Többek között megállapítottuk, hogy a víz-, csatorna- és földgázvezetékek kiépítése jóval kedvezőtlenebb. Utóbbi kettő indokolttá teheti az energetikai fejlesztéseket.

1. táblázat. A vizsgált települések névjegyzéke:

|                 |               |                      |                     |
|-----------------|---------------|----------------------|---------------------|
| 1 Kéked         | 9 Garadna     | 17 Abaújkér          | 25 Kiskinizs        |
| 2 Abaújvár      | 10 Vilmány    | 18 Gibárt            | 26 Hernádkércs      |
| 3 Tornyosnémeti | 11 Novajdrány | 19 Hernádbúd         | 27 Nagykinizs       |
| 4 Zsujta        | 12 Vizsoly    | 20 Hernádszentandrás | 28 Halmaj           |
| 5 Hidasnémeti   | 13 Méra       | 21 Pere              | 29 Szentistvánbaksa |
| 6 Hernádszurdok | 14 Hernádcéce | 22 Ináncs            | 30 Aszaló           |
| 7 Gönc          | 15 Encs       | 23 Csobád            |                     |
| 8 Göncruszka    | 16 Forró      | 24 Felsődobsza       |                     |

Eredményeink is azt mutatják, hogy a Hernád-völgye egyike hazánk legelmaradottabb térségeinek, társadalmi, infrastrukturális és gazdasági szempontból is. A meghatározó szektor a mezőgazdaság, mely azonban alacsony jövedelmezőségi viszonyok és kockázatos értékesítési feltételek mellett működik a térségben. Ugyanakkor jelentős tartalékok léteznek a bio-energetikai szektorban, mind az energetikai beruházások, mind a helyi alapanyag-termelés vonatkozásában.

A térségben, mintegy 125 ezer t energetikai célra felhasználható fitomassza képződik évente, figyelembe véve az egyéb felhasználási lehetőségeket is. Ebből mintegy 8 ezer t erdészeti tűzifa és apadék, 600 t szőlővenyige és gyümölcsfa-nyesedék, 59 ezer t a mezőgazdaságban főtermékként, 55 ezer t pedig a lágyszárú melléktermékként rendelkezésre álló fitomassza mennyisége. Ennek értéke 4,4 Mrd Ft-ra becsülhető, a belőlük előállított termékek értéke azonban 7,8-8,6 Mrd Ft, amelynek mintegy 75-80 %-a a térségben tartható.

A térségben a természeti adottságok lehetővé, a társadalmi adottságok pedig szükségsszerűvé teszik a mezőgazdasági, vagy erdészeti alapanyagokra alapozott hőenergia-előállítás. A vizsgálatunkban szereplő települések azonban kevesebb forrással rendelkeznek, nincs kiépített távhőrendszerük és valószínűleg az intézményfűtés lehet az energetikai korszerűsítés célja, ezért a lágyszárú és fás szárú lignocellulózok hasznosítása esetén is a biofűtőművek kialakításának vizsgálatát tartjuk indokoltnak.

Az erdészeti faapríték potenciálja feltétlenül figyelembe veendő az energetikai fejlesztéseknél. A fafajok közül összes hozamok és fajlagos hozamok tekintetében is a térségben kiemelkedő a tölgy, a bükk, az akác és a nemesnyárok jelentősége. Az iparszerű hasznosításra elsősorban azok a települések vehetők számításba, melyek jelentősebb gazdasági hasznosítású erdőterülettel rendelkeznek és lehetőleg a fenti fajokkal.

A fitomassza térbeli megoszlása alapján a következő térségekben tartjuk indokoltnak biofűtőművek létrehozását:

- Faaprítékra:
  - Gönci térség (7 település) 2,5 MWth kapacitás
- Lágyszárú mezőgazdasági melléktermékekre:
  - Gönci térség (6 település) 12 MWth kapacitás

- o Encsi térség (10 település) 6 MWth kapacitás

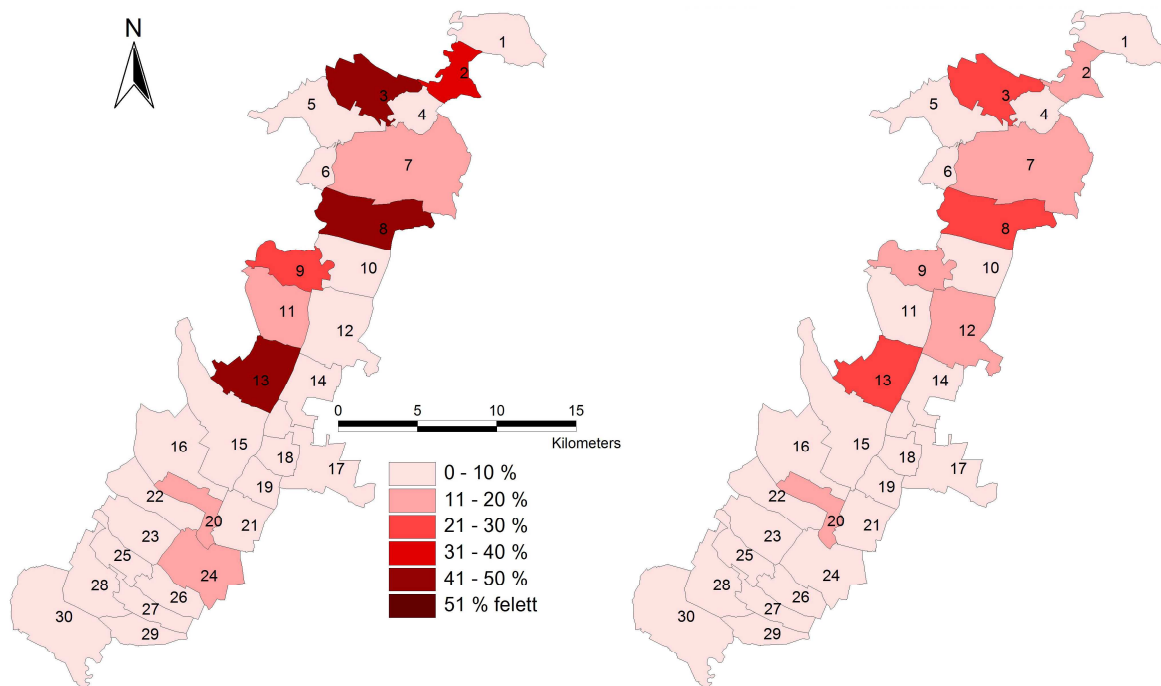
Tágabb értelemben ezek a beruházások feltétlenül gazdaságilag is versenyképesnek tekinthetők, nagymértékben csökkentik a helyi munkanélküliséget (240-1140 fő), a helyi mezőgazdasági termelők részére biztos és helyi értékesítést tesznek lehetővé, további tőkét vonzhatnak a térségbe, valamint környezetvédelmi hatásai is jelentősek (1930-9270 t CO<sub>2eq</sub>/év).

*Lakossági kérdőíves attitűdvizsgálatunk* a vizsgált terület mind a 30 településére kiterjedt. A lekérdezés során a Random Walk véletlen kiválasztási módszerhez hasonló elvet alkalmaztunk, miszerint a települések egész területéről egyenletes és véletlenszerű mintavételt igyekeztünk megvalósítani, ügyelve arra, hogy ne egymás közvetlen környezetéből (szomszédságából) illetve közös háztartásból kerüljenek ki a megkérdezettek. A reprezentativitás biztosítása érdekében minden településen a háztartások 10%-át kérdeztük meg. A kérdezőbiztosok által feltett 30 kérdés 4 csoportra osztható. A felmérés első részében az általános információkat gyűjtöttük be, ezt követően a felhasznált energia árának megítélése, előállítási módja mellett a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos ismeretekről, és azok beszerzésének szokásairól kaptunk információkat. Értékes adatokat szolgáltatottak a következő csoport kérdései, amelyek *az adott településen és a saját háztartásban hasznosítható megújuló energiaforrásokra irányult*, külön kezelve a saját és a települési kezdeményezésű beruházások megvalósításával kapcsolatos attitűdöket. Az összesen 1188 darab kérdőív adatainak feltöltését és kiértékelését követően teljes képet kaphatunk az érintett települések vonatkozásában a megújuló energiaforrások ismeretéről és ezek hasznosításának hajlandóságáról.

A megújuló energiák hasznosításának egyik lényeges kérdése a lakosság erre vonatkozó ismerete. A rendelkezésre álló információ mennyisége és minősége rendkívül fontos. Felmérésünkben kitűnik, hogy az egyes településeken az emberek jórészt nincsenek birtokában a megfelelő ismereteknek, ily módon érdemben sokszor nem is tudhatnak a hasznosításból fakadó előnyökről és lehetőségekről. Azonban nemcsak a hiány lehet gátló tényező, hanem a kevés és olykor nem teljesen (korrekt) hiteles információ, amely az egyes kérdésekben félreértésekre adhat okot, így emiatt hiúsulhat meg egy fejlesztés vagy beruházás. A lakosság részéről eredményeket csak korrekt, hiteles és teljes körű tájékoztatással lehet elérni.

Az elvégzett kutatás alapján megállapítható, hogy a vizsgálati helyszíneken a *biomasszára* és annak felhasználási módjaira vonatkozó, valósan tekinthető érdemi ismeret nagyon kevés, amit a 2. ábra is illusztrál. A hagyományos információforrások (elektronikus média, írott sajtó) nem szolgáltatnak teljes körű, az ilyen típusú igényeket kielégítő ismereteket. Az információ hiány és a negatív képzettársítások az egyes eljárásokkal szembeni teljes elzárkózáshoz vezetett. Ez a tájegységre nézve kifejezetten hátrányos, mivel a természeti adottságai, gazdasági berendezkedése a mezőgazdaság foglalkoztatásban is betöltött lényeges szerepe, az energetikai célra hasznosítható biomassza termelését és nagyobb mértékű felhasználását lehetővé teszi. Ami nemcsak költségmegtakarítást eredményezhet, hanem egy feltarthatóbb helyi gazdaságot és részleges vagy akár teljes energiabiztonságot.

A kérdőíves attitűdvizsgálat keretében arra is kerestük a választ, hogy a lakosság milyen ismerettel rendelkezik a szélről és a Napról, mint energiaforrásról. A válaszadók tényleges tudásának minél pontosabb feltárása érdekében a kérdés két részből állt. Egyfelől a megkérdezettek hallottak-e már szélenergiáról, a napenergiáról és az azokat hasznosító berendezésekről, tehát magát a szót ismerik-e, másfelől a puszta fogalmon kívül rendelkeznek-e bármilyen további információval. A megkérdezések során, valamint az adatfeldolgozások eredményeiből kitűnt, hogy az egyes településeken a válaszadók tényleges ismereteit a kérdés második felére vonatkozó válaszok alkotják.



2. ábra: A biomassza tüzelésű erőmű/fűtőmű elfogadottsága (balra) és megvalósíthatósága (jobbra) a vizsgált településeken.

A Hernád-völgy 21 településén a megkérdezettek döntő hányada (> 80%) hallott a *szélenergiáról*, azonban az ismeretek terén rendkívüli információhiány volt tapasztalható. A 30 településből mindössze 12-ben haladja meg a 20%-os arányt az alapszintű ismerettel rendelkezők száma, tehát a megkérdezettek közel négyötöde számára a szélenergia hasznosítási módjai, eszközei, lehetőségei teljesen ismeretlenek. A „részletesebb ismertség” szintjén jelentkező – a többi megújuló energiaforrásokhoz képest – magasabb érték részben a délebbre található, már működő felsőzsolcai és az érintett területen belül, Mérán kis híján megvalósult szél erőműveknek köszönhető. Ennek ellenére hosszútávon mindössze nyolc önkormányzat gondolkodik szélgenerátorok, illetve szél erőgépek telepítésében.

A *napenergia* fogalom-szintű ismertsége közel azonos mértékű a szélenergiával. A napenergia hasznosításához kapcsolódó napkollektor és napelem esetében 17, illetve 15 településen 80% feletti a fogalomról hallók aránya, ami biztatónak tűnik. Az alapszintű ismeretekkel rendelkezők azonban itt is kis számban vannak jelen. A válaszadók döntő többsége a két berendezés (napelem, napkollektor) között érdemi különbséget nem tud tenni. A legtöbb esetben az alapvető működési elvvel, a felhasználás módjával, lehetőségeivel, de még az eszközök megjelenésével sincsenek tisztában. Összességében azonban a szél- és napenergia ismertsége a völgy településein a többi megújuló energiaforráshoz képest mégis kedvezőnek mondható, ugyanis azok mind fogalmi, mind ismereti szinten messze elmaradnak a fent említett értékekhez képest.

A válaszadók 70%-a nem elégedett jelenlegi ismereteivel és szeretne több információhoz jutni az egyes megújuló energiaforrásokra vonatkozóan. A megkérdezettek 18% egyáltalán nem igényel újabb információkat, míg 12%-a nem tudta felmérni saját igényeit, illetve nem válaszolt a kérdésre. Az érdeklődés leginkább azon erőforrások felé irányult, amelyek hasznosítása a lakosság számára is elérhető mind anyagi, mind technikai oldalról nézve. A megkérdezettek jelenlegi ismereteiket leginkább a szél-, illetve a napenergia hasznosítása terén szeretnék tovább bővíteni, melynek teljesen logikus okai vannak. Egyfelől

a növekvő energiaárakkal szemben, a fenti erőforrások hasznosításával a saját háztartás valamely energiaigénye csökkenthető, illetve kiváltható. Másfelől leginkább a szélmotorok és a napkollektorok esetében számos lehetőség adódik a kisebb hatékonyságú, de olcsóbb, akár házilag is előállítható energia-hasznosító berendezések készítésére. Részben az anyagi lehetőségek, részben a saját eszközök elkészítése miatt a legnagyobb érdeklődés a napkollektorok (34%) felé irányult. A kollektorok iránt érdeklődők szinte kizárólag a használati melegvíz-előállításában gondolkodtak, és csak kevesen említették a fűtésrészegítést. A napelemes rendszerek már komolyabb technikai ismereteket és szaktudást igényelnek, így itt nem a saját, egyedi tervezésű, mint legolcsóbb megoldások voltak a meghatározó szempontok. Az érdeklődők (26%) számára ezek az eszközök már nem voltak ismeretlenek, így az információbővítést már nem a puszta kíváncsiság, hanem a (hálózatra történő) villamosenergia-termelés motiválta. A szélenergiaával kapcsolatos ismereteiket a válaszadók 18%-a kívánja bővíteni. Itt azonban már lényegesen többen voltak, akik elsősorban nem a megvalósíthatóság, illetve közvetlenül saját alkalmazás miatt érdeklődtek, hanem a téma iránti kíváncsiság miatt.

### **Klimatológiai vizsgálatok**

Az első év feladata a *klimatológiai* vizsgálatok szempontjából a terepi mérések előkészítése és megkezdése volt. Ehhez az első lépést a szükséges műszerek beszerzése, telepítése jelentette. A telepítés előtt sor került a két automata meteorológiai állomás karbantartására. Ennek során több meghibásodásra is fény derült, ami több hónappal késleltette a mérések megkezdését. A hibák elhárítását követően az állomások folyamatos adatsort szolgáltatottak. Installáltuk az állomások tágabb környezetében végzendő terepi expedíciós meteorológiai mérésekhez szükséges műszereket is, beszereztük a kassai repülőtér meteorológiai állomásának szél- és napsugárzás adatait. Szakmai szempontból mindkettő kedvező lehetőség, mivel az adatok felhasználása révén bővül a térbeli extrapoláció lehetősége: modellünket nagyobb földrajzi területre terjeszthetjük ki. Az első év munkájának eredményeként létrehoztuk a klimatológiai adatbázis alapjait és megkezdjük annak napsugárzás, hőmérséklet, csapadék, szélirány és szélesség adatokkal való feltöltését.

Klimatológiai méréseink alapján feltártuk a kistáj éghajlati viszonyait. Ez lehetővé teszi egyrészt a szél- és napenergia mennyisége és az időjárási helyzetek kapcsolatát leíró indexek kidolgozását, másrészt a szélerőművek optimális helyének kiválasztását elősegítő modell kifejlesztését, a szélesség magasság függvényében történő változását leíró összefüggések pontosítását, valamint az éghajlati sajátosságoknak leginkább megfelelő energetikai felhasználásra alkalmas növények körének meghatározását.

A Hernád-völgy *napenergia potenciáljának* felméréséhez szükséges ismernünk a térségbe jutó globálsugárzás időbeni és térbeni eloszlásának alakulását. Ezt elsősorban a Nap, illetve a domborzat geometriája határozza meg, ugyanakkor a napenergia-bevétel alakulásában a légkör pillanatnyi állapotának is fontos szerepe van. A rendelkezésre álló felszíni globálsugárzás adatok azonban nem minden esetben reprezentálják az adott területet, főként ilyen regionális léptékű elemzéseknél, így kiindulópontként a térséghez legközelebb eső aktinometriai állomás, a kassai repülőtér napi adatait használtuk fel.

A Hernád-völgy napi globálsugárzás összegeinek alakulását elsősorban a közepes földrajzi szélesség határozza meg, de további befolyásoló tényező a térségre jellemző általános légköri cirkuláció, amely a felhőzet kialakulásában, a napsütéses órák számának alakulásában, és nem utolsósorban a légkör sugárzásáteresztő képességében (eltérő légtömegek) játszik nagy szerepet. A felszínre érkező globálsugárzási adatok kiértékelése elengedhetetlen információkat nyújt a Hernád-völgyben tervezett napenergia beruházások tervezésénél, gazdasági elemzésénél. A statisztikai adatfeldolgozás, illetve a térinformatikai módszerek egybekapcsolásával elvégezhető a vizsgálat a térség bármely pontjára, ahol a

konkrét napenergia hasznosítási tevékenység zajlik. Ez indokolt is, mert a helyi, elsősorban domborzati, feltételek jelentős mértékben befolyásolhatják a globálsugárzás területi, illetve időbeni eloszlását.

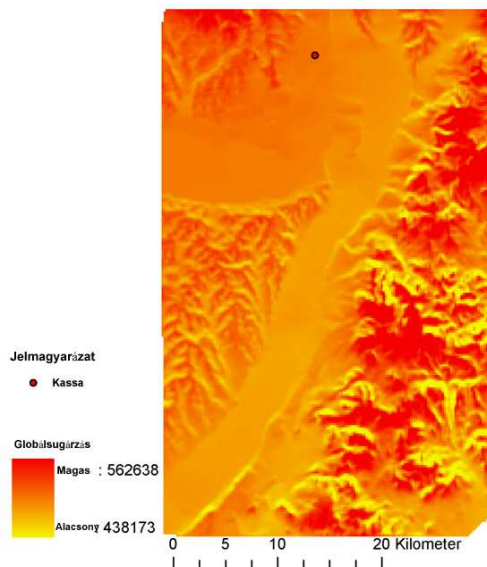
A vizsgálat során a Hernád-völgy napenergia-potenciálját értékeltük ki a mért, illetve műholdas adatok alapján, valamint bemutattuk a globálsugárzás alakulásának tendenciáit a éghajlatváltozás tükrében. Rámutattunk arra, hogy a GIS technika nagyon hasznos az ilyen jellegű vizsgálatoknál, mivel a domborzati adottságokat és geometriai tényezőket nagy pontossággal figyelembe tudja venni. Érzékeny része viszont a légköri tényezők parametrizálása, amely a valóságtól nagyon eltérő eredményeket is produkálhat, ha nem történik az adott térségre vonatkozó korrigálás. A jelen vizsgálat igazolja, hogy a légkör sugárzásgyengítési együtthatójának minél pontosabb parametrizációja nagymértékben javít az eredményeken. Míg az alapértelmezésben használt érték 38,4%-os hibát mutat, a korrigált paraméterrel 21,1% hibát kaptunk a vizsgált rövid időszakokra. A korrigált értékek segítségével elkészült a térség globálsugárzás térképe (3. ábra), amely a napenergia felhasználás céljából sokkal részletesebb információkat nyújt, mint a térségre előállított műholdas adatok. A globálsugárzás tendenciáinak vizsgálata során egy sugárzásbeli növekedés prognosztizálható a felhőzet egyidejűleg történő csökkenésével.

A Hernád-völgy esetében elmondható, hogy az éghajlati adottságokat tekintve jelentős napenergia potenciállal rendelkezik, a vizsgált időszakban Kassa Meteorológiai állomáson mintegy összesen  $1204,8 \text{ kWh/m}^2$  sugárzásbevéttel, ami átlagosan napi  $3300 \text{ Wh/m}^2$  energiát jelent. A legkisebb értékek decemberben tapasztalhatóak, átlag  $671 \text{ Wh/m}^2$ , viszont a minimum érték lecsökkenhet akár  $77 \text{ Wh/m}^2$ -ig, a maximum pedig  $1833 \text{ Wh/m}^2$ . A téli hónapok közül a februári hónapban érkezik a legtöbb sugárzás, napi átlagban  $1278 \text{ Wh/m}^2$ . A tavaszi hónapokban ez az érték ismét növekedik, márciusban  $3227 \text{ Wh/m}^2$ , májusban pedig  $5831 \text{ Wh/m}^2$ . Nyári hónapokban a napi besugárzás összege átlagosan  $5580 \text{ Wh/m}^2$ , a legnagyobb besugárzást a júliusi hónapban regisztrálták  $7958 \text{ Wh/m}^2$  maximum értékkel. Az augusztusi hónappal kezdődően a napi globálsugárzás értékek csökkennek a nappalok hosszának rövidülésével párhuzamosan, ekkor még átlagosan  $5026 \text{ Wh/m}^2$  a napi besugárzás, míg az őszi hónapokban fokozatosan tovább csökken, szeptemberben  $3962 \text{ Wh/m}^2$ , novemberben pedig  $743 \text{ Wh/m}^2$ . Évszakos bontásban az éves besugárzásnak 42% érkezik a nyári hónapokban, 34% tavasszal, 16% az őszi időszakban, télen pedig mintegy 7%. A meteorológiai állomáson rögzített adatokhoz képest a térség kedvező domborzati adottságokkal rendelkező részeiben a napenergia bevétel magasabb is lehet. A térinformatikai program segítségével készített globálsugárzás térképek alapján a térség meleg félévi (május-augusztus) globálsugárzás bevételenek statisztikái a következők: átlag  $500905 \text{ Wh/m}^2$ , minimum érték  $438173.4 \text{ Wh/m}^2$ , maximum érték  $562638.3 \text{ Wh/m}^2$ , az egyes pontok közötti empirikus szórás pedig  $\pm 11169 \text{ Wh/m}^2$ , ez utóbbi számszerűsíti tulajdonképpen a domborzati adottságoknak szerepét.

Az adatokkal alátámasztott kedvező éghajlati és domborzati adottságok ismerete alapját képezheti a térségben zajló napenergia alkalmazások felgyorsulásának.

*Szélklimatológiai* kutatásaink céljára a Hernád-völgy északi részén felállításra került egy 20 m magas mérőtorony, melyen szélesség mérőket helyeztünk el 10 és 20 m-en, valamint széliránymérőt 20 m-en. A szélmérő állomás Hidasnémetitől nyugatra, a település határától kb. 500 m-re található egy kisebb dombon. Földrajzi koordinátái: É.sz.  $48^\circ 30'$ , K.h.  $21^\circ 13'$  tengerszintfeletti magassága 173 m. A szélklimatológiai vizsgálatokhoz a saját mérések mellett felhasználtuk a Kassai repülőtér napi átlagos szélesség adatait is.

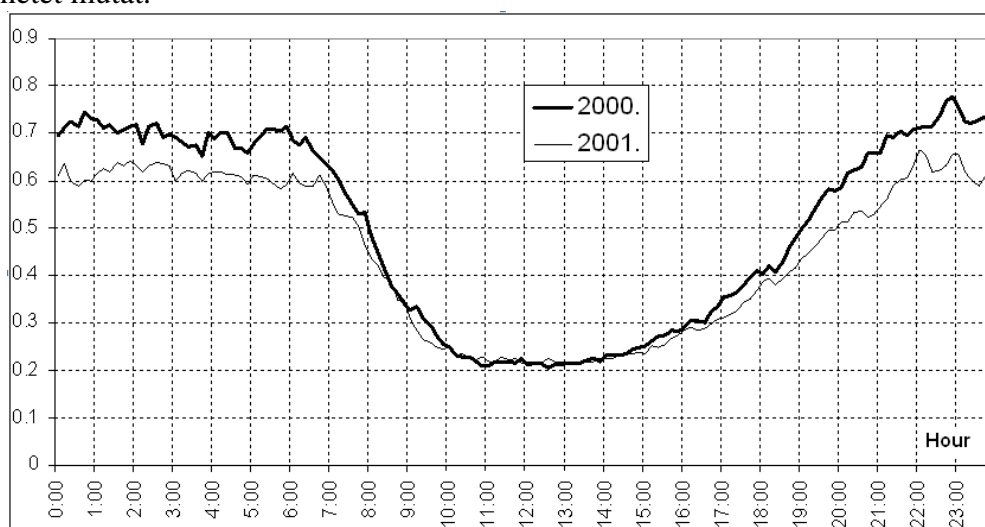
A kutatási időszak szélmérési adatokkal rendelkező 525 napja alapján előállítottuk a szélesség átlagának, szórásának, variációs együtthatójának és a Hellmann-féle szélprofil-egyenletben szereplő  $\alpha$  paraméternek a 10 percenkénti napi menetét mindkét magasságban. A szélességek átlagos napi menetében a maximum mindkét magasságban 13 és 15 óra között



3. ábra: Hernád-völgy globálisugárzás összege ( $\text{Wh/m}^2$ ) május-augusztus időszakban.

áll be, a minimum pedig a hajnali órákban (3-4 óra), ami megfelel hazánk szélklímája egyik általános vonásának. A napi ingás 10 m-en 1,6, 20 m-en pedig 1,4 m/s, ami a magasabb szint szélsőségeinek kevésbé változókéony voltára utal. A két szint átlagainak különbségei nem haladják meg a 0,4 m/s-ot, nappal általában ennél kisebbek. A teljes időszakra számított átlagok pedig 3,2 és 3,4 m/s.

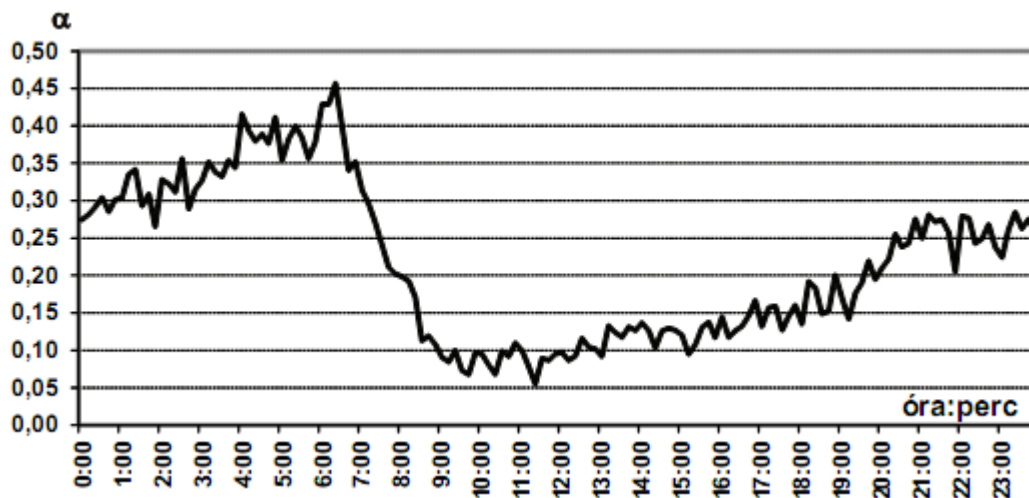
Az  $\alpha$  paraméter átlagos napi menete követi a 20 és 10 m-es óránkénti szélsőségek különbségének napi menetét, azaz hajnali 4 és 6 óra között az értéke kiugró. Átlagos értéke 0,22, ami közel áll az országos számításokhoz ajánlott 0,25-höz. Az  $\alpha$  a légkör egyensúlyi helyzetein keresztül hőmérséklet függő, ami nagy vonalakban azt jelenti, hogy alacsony talaj közeli hőmérsékletnél (stabil egyensúlyi helyzet) értéke nagy, magas talaj közeli hőmérsékletnél (labilis egyensúlyi helyzet) értéke kisebb (ld. 4. ábra). Az éjszakai értékek más vizsgálatok szerint is nagyobbak, de a napi menet általában sokkal szabályosabb, mint ahogyan ez most az 5. ábrán látható: 21 órától 6 óráig kb.  $\pm 0,05$  ingással állandónak vehető, napközben viszont 6 órától 12-13 óráig csökken, majd növekedni kezd. Ábránk nem ilyen napi menetet mutat.



4. ábra: Példa a Hellmann-kitevő szabályos napi menetére (a paksi toronymérések 50 és 20 m-es szélsőségeiből)



A kitevő pillanatnyi értékeinek ismeretében előállítható a mérési szinteknél nagyobb magasságok szélsőségeinek átlagos napi menete és napi átlaga, ami a potenciális szélenergia mennyisége szempontjából meghatározó. Statisztikus definíciót adtunk egy tetszőleges időszak egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítményre, majd elvégeztük ennek összehasonlító vizsgálatát. A hónap egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítmény 10 m-en augusztusban a legkisebb és júniusban a legnagyobb. Az előzőekben leírtak szerint meghatározva a 60 m-es értékeket is azt tapasztaljuk, hogy a minimum és maximum értékek ugyanazokra a hónapokra esnek. A különböző havi értékeknek a két szintbeli aránya pedig októberben a legkisebb és novemberben a legnagyobb. A felső határt azért választottuk 60 m-nek, mert e fölött a szélsőségek napi menete megfordul: 13-14 óra körüli minimummal és éjszakai maximummal rendelkezik. Ezt a napi menetet azonban nem kapjuk vissza, ha az  $\alpha$  paraméter 5. ábrán látható értékeivel számolunk.



5. ábra. A Hellmann-kitevő átlagos napi menete a Hernád-völgyben

A kitevő pillanatnyi értékeinek ismeretében előállítható a mérési szinteknél nagyobb magasságok szélsőségeinek átlagos napi menete és napi átlaga, ami a potenciális szélenergia mennyisége szempontjából meghatározó. Statisztikus definíciót adtunk egy tetszőleges időszak egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítményre, majd elvégeztük ennek összehasonlító vizsgálatát. A hónap egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítmény 10 m-en augusztusban a legkisebb és júniusban a legnagyobb. Az előzőekben leírtak szerint meghatározva a 60 m-es értékeket is azt tapasztaljuk, hogy a minimum és maximum értékek ugyanazokra a hónapokra esnek. A különböző havi értékeknek a két szintbeli aránya pedig októberben a legkisebb és novemberben a legnagyobb. A felső határt azért választottuk 60 m-nek, mert e fölött a szélsőségek napi menete megfordul: 13-14 óra körüli minimummal és éjszakai maximummal rendelkezik. Ezt a napi menetet azonban nem kapjuk vissza, ha az  $\alpha$  paraméter 4. ábrán látható értékeivel számolunk.

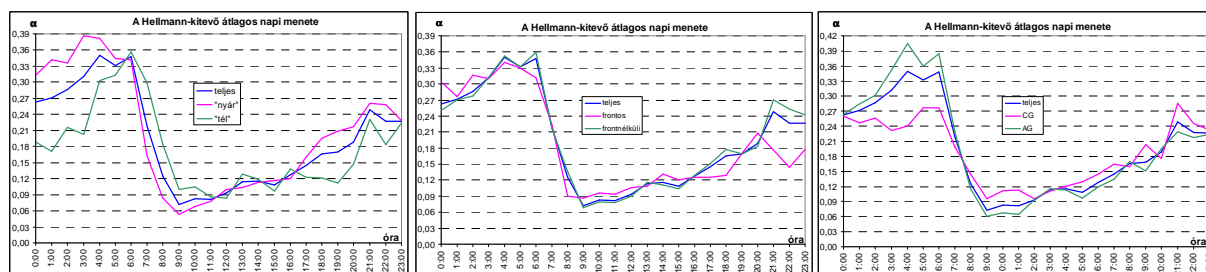
A kitevő „szabálytalan” napi menetének okát keresve első lépésként viszonylag homogén áramlási rendszerek szerinti felbontásban vizsgáljuk a különböző szélklimatológiai jellemzők statisztikai tulajdonságait a teljes időszak jellemzőivel összevetve. Ezek a rendszerek a következők: a téli és nyári félév, a Puskás-féle fronttipizálás alapján elkülönített frontos és frontnélküli napok, valamint a ciklonális (CG) és anticiklonális (AG) Péczely-féle makroszinoptikus helyzetek. Az egyes időszakok átlagos szélsőségeit a 2. táblázat tartalmazza.



2. táblázat: A különböző időszakok átlagos szélességei.

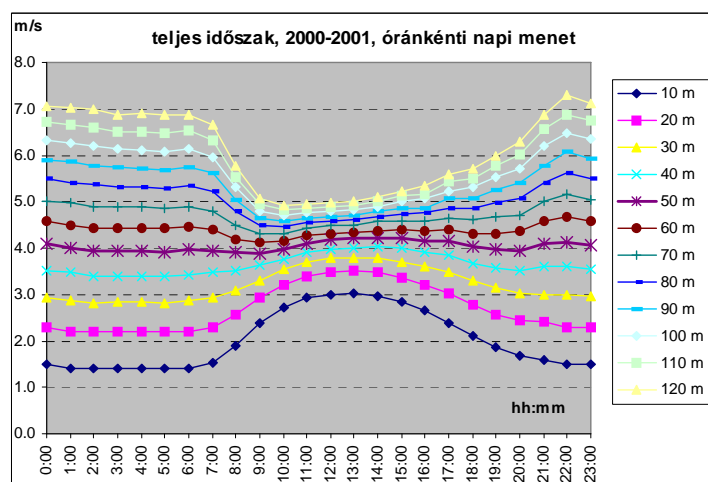
| átlagos szélesség, m/s |      |      |
|------------------------|------|------|
|                        | 10 m | 20 m |
| teljes                 | 3.2  | 3.4  |
| nyári félév            | 3.2  | 3.5  |
| téli félév             | 3.1  | 3.3  |
| frontos                | 3.4  | 3.6  |
| frontnélküli           | 3.1  | 3.4  |
| CG                     | 3.5  | 3.8  |
| AG                     | 3.0  | 3.3  |

Ahogy ezt a 6. ábrán láthatjuk, az időszak szélmerési adatainak az ilyenfajta részhalmozokra való bontása nem igazán javított az  $\alpha$  napi menetének képén. Az viszont kiderült, hogy a nappali, labilis rétegződésű időszakba a kitevő értékei majdhogynem függetlenek az áramlási helyzetektől, hiszen közel egyenlők a teljes időszakra számított kitevőkkel.



6. ábra: A méréseink alapján számolt  $\alpha$  paraméter átlagos napi menetei különböző időjárási helyzetekben.

Így tehát magasabb szintek szélességeinek napi menetét az  $\alpha$  5. ábrán látható értékeivel tudjuk előállítani. Biztosan nem kapjuk vissza most sem azt a vertikális változást, amit a paksi adatok alapján „szabályosnak” mondható (7. ábra). Ezen az ábrán ugyanis az látható, hogy 50-60 m-en a napi menet igencsak „lapos” az alatta és felette lévő szintekhez képest. Ezt a magasságot tekinthetjük tehát a mérés helyén az ún. inflexiós magasságnak, ahol a szélesség (és így a szélenergia) napi menete véletlenszerű. E fölött a napi menet megváltozik.



7. ábra: A szélesség számított napi menetei a paksi toronymérések alapján különböző magasságokban.

A 10 m-es mérésekből megbecsültük a 20 m-es óránkénti átlagos szélességeket a különböző időszakokban az  $\alpha$  megfelelő napi meneteinek felhasználásával, a becsült és a mért értékek összevetésével pedig meghatározzuk a Hellmann-modell hibáját, amit a 3. táblázat tartalmaz.

3. táblázat: A Hellmann-modell átlagos relatív hibái

| időszak      | %    |
|--------------|------|
| teljes       | 4,93 |
| nyári félév  | 4,54 |
| téli félév   | 5,36 |
| frontos      | 5,35 |
| frontnélküli | 4,75 |
| CG           | 5,14 |
| AG           | 4,71 |

Az átlagos hibák a fent említett problémák ellenére elfogadhatók, így az  $\alpha$  6. ábrán látható napi menetinek segítségével előállítottuk az óránkénti átlagos szélességeket 80 m magasságban a különböző időszakokban a 10 és a 20 m-en mért szélességek óránkénti átlagából. Az tapasztaltuk, hogy a 10 m-es értékekből modellezett szélességek mindig nagyobbak, átlagosan 0,2-0,3 m/s-mal. Az egyes időszakok átlagos szélessége ennek megfelelően 80 m-en a következőképpen alakul (4. táblázat):

4. táblázat: A modellezett átlagos szélességek (m/s) 80 m-en a 10 és 20 m-es mérési adatokból.

| időszak      | 10 m-es    | 20 m-es |
|--------------|------------|---------|
|              | mérésekből |         |
| teljes       | 4,7        | 4,5     |
| nyári félév  | 4,8        | 4,6     |
| téli félév   | 4,5        | 4,3     |
| frontos      | 4,9        | 4,7     |
| frontnélküli | 4,6        | 4,4     |
| CG           | 5,1        | 4,9     |
| AG           | 4,5        | 4,3     |

A 10 m-es átlagos szélességekhez képest 80 m-en 1,4 (téli félév) és 1,6 (nyári félév, CG csoport) m/s-mal nagyobbak az időszakok átlagai a 10 m-en mért adatokkal számolva.

A hazai potenciális szélenergia meghatározására előző kutatásaink során kidolgoztunk egy olyan módszert is, amellyel egy napokból álló adott időszak (pl. hónap, évszak, év) egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítmény meghatározható. Ez ugyanis arányos a szélesség köbök óránkénti átlagának napi menetét közelítő (integrálható) függvény görbe alatti területével ( $T_{ga}$ ), az arányossági tényező a levegő sűrűségének fele. Közelítő függvényünk egy trigonometrikus polinomokból álló Fourier-sor első két eleme (hulláma). A közelítés jóságának meghatározására egy, a szórásnégyzetet és a reziduális szórásnégyzetet tartalmazó paramétert definiáltunk ( $s_{02}$ ), melynek értéke 0 és 1 közé esik.

Az 5. táblázatban megadjuk az  $s_{02}$  értékeit, valamint az egyes részidőszakok és a teljes időszak  $T_{ga}$  értékeinek arányát (%-ban) 10 és 20 m-en, továbbá a 20 és a 10 m-es  $T_{ga}$  értékek arányát a különböző időszakokban. Ezek az arányok ugyanis egyenlők az időszakok egy napjára átlagosan jutó fajlagos szélteljesítmények arányával.

5. táblázat: A közelítés jóságát jelző paraméter és a görbe alatti területek arányai.

| időszak            | 10 m     |              | 20 m     |              | $T_{ga20}/T_{ga10}$ |
|--------------------|----------|--------------|----------|--------------|---------------------|
|                    | $s_{02}$ | $T_{ga}$ (%) | $s_{02}$ | $T_{ga}$ (%) |                     |
| teljes             | 0.94     | 100.0        | 0.98     | 100.0        | 1.07                |
| nyári félév        | 0.93     | 101.3        | 0.95     | 105.1        | 1.03                |
| téli félév         | 0.76     | 98.0         | 0.76     | 92.6         | 1.13                |
| frontos napok      | 0.86     | 118.6        | 0.94     | 117.0        | 1.09                |
| frontnélküli napok | 0.88     | 94.4         | 0.91     | 94.8         | 1.07                |
| ciklonális csop.   | 0.87     | 126.0        | 0.93     | 127.1        | 1.06                |
| anticikl. csop.    | 0.91     | 86.8         | 0.94     | 86.2         | 1.08                |

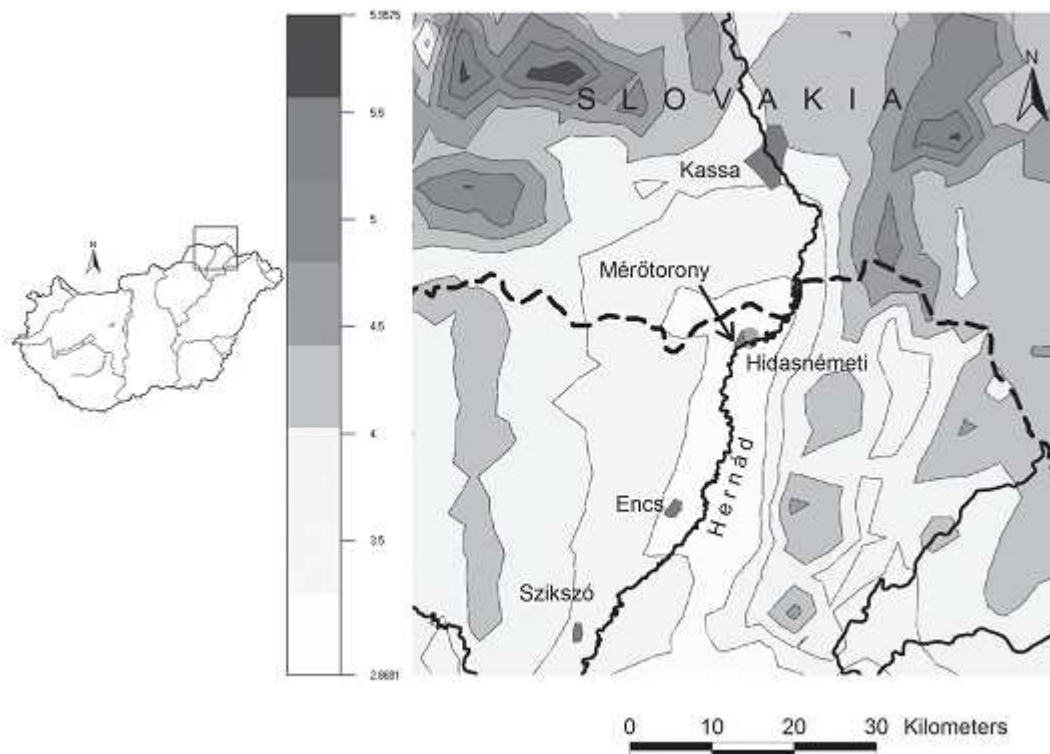
Látható, hogy a legjobb közelítést a teljes időszakban kaptuk, a legrosszabbat pedig a téli félévben mindkét magasságban. A ciklonális csoport egy napjának átlagos fajlagos szélteljesítménye a legtöbb, míg az anticiklonális csoporté a legkevesebb a teljes időszakéhoz képest. 100 % fölötti még az arány a nyári félévben és a frontos napok esetében, ez alatti pedig a téli félévben és a frontnélküli napoknál. A két magasság napi átlagos fajlagos szélteljesítményének aránya ( $T_{ga20}/T_{ga10}$ ) viszont a téli félévben a legnagyobb és a nyári félévben a legkisebb.

A Hernád-völgyi szélpotenciál felméréséhez azonban területi extrapolációra is szükség van. Az erre felhasznált modell nem sajátfejlesztésű, ellenben WindSim 5.0 magyarországi adaptációjára még nem volt példa. A moduláris felépítésű modell több lépcsőben jut el a domborzat által befolyásolt átlagos szélesebbég térbeli eloszláshoz, amely végeredményben meghatározza a kiválasztott szélenergia hasznosító berendezés várható energiatermelését. A WindSim 5.0 szoftver futtatásához létrehoztuk a mintaterület digitális domborzatmodelljét a területről UTM vetületi rendszerben készült 1:50000 méretarányú topográfiai térképekről. A WindSim modell futtatásához az SRTM adatbázisból származtatott digitális terepmodellt használtunk. A terepmodell 3 szögmásodperc pontosságú, azaz kb. 90 m x 90 m pixel méretet jelent. Végeredményben meghatározásra kerültek a Hernád-völgy területére a domborzat által befolyásolt turbulencia paraméterek, az átlagos szélirányeloszlás alapján súlyozott szélesebbég térbeli képe mind a hidasnémeti toronymérések, mind a kassai repülőtér 1 éves adatsora alapján. A szélpotenciál térképeket közel 200 m magassági szintig tudjuk előállítani, melyek segítségével optimális helyszínek kerülhetnek kiválasztására a szélenergia alkalmazására. Erre mutatunk egy példát a 8. ábrán.

Úgy látjuk tehát, hogy a programcsomag alkalmas a Hernád-völgy és tágabb környezetének szélenergia potenciáljának felméréséhez, a kutatási programban megfogalmazott célkitűzések teljesítéséhez. A kutatás további szakaszában finomítottuk a digitális domborzatmodell pontosságát, kiegészítjük folyamatosan a szél-adatsor hosszát.

#### *Szélklimatológiai vizsgálataink legáltalánosabb következtetései:*

- A 2010.04.23 és 2012.04.27 között Hidasnémetiben végzett szélmérések alapján 2011. év szélteljesítménye elmaradt a sokévi átlagtól.
- A szélesebbég napi változása szerint 14-15 óra körül tapasztalhatunk a maximumot.
- A szélesebbég gyakorisági eloszlása 10 m és 20 m magasságban annyiban különbözött, hogy alacsonyabb szinten sokkal nagyobb, akár 15%-ot is elérheti a szélcsend gyakorisága. Alapvetően 10 m-en a 1-2 m/s, 20 m-en 3-4 m/s a leggyakoribb szélesebbég.



8. ábra. Szélpotenciál földrajzi eloszlása 80 m magasságban

- A szélesebbség eloszlásokat a Weibull-eloszlással közelítettük. Az eloszlás sebességszintű alakparamétere 10 m-en  $k=1.3$  m/s és  $c=3.2$  m/s a skálaparamétere, 20 m-en  $k=1.6$  m/s,  $c=3.7$  értéknél mutatott legjobb közelítést a mért adatainkhoz.
- A Hernád-völgy országhatárhoz közel északi részén az északias és a vele ellentétes déli szélirány a leggyakoribb. A legnagyobb szélesebbség az észak-északkeleti és dél-délnyugati szektorhoz tartozik, mindkét magassági szinten. A szélesebbség szórása segítségével számított turbulencia intenzitás akkor a legnagyobb, ha a szél DK és NY irányból fúj.
- Az 50 m, 80 m és 110 m magasságra készített szélesebbség eloszlást bemutató térképek alapján a Hernád-völgy tartósan a környező hegységkeret szélárnyékába kerül. A szélirány eloszlással súlyozott modell esetén a folyóvölgy magyarországi szakaszának északi részén mindössze 2.8-3 m/s, míg déli területein 3.5-4 m/s az éves átlagos szélesebbséget kaptunk 50-110 m magasságban. 50 m magasságban a légmozgások energiataralma viszonylag alacsony, közel  $60 \text{ W/m}^2$ . A modellezett értékek verifikációjára még nem volt lehetőségünk, a becsléseink tájékoztató jellegűek.

*Javaslatok a széleenergia hasznosításához:*

- A Hernád völgy Encstől délre fekvő szakasza és a völgy nyugati, Cserehát felőli oldala látszik alkalmasnak széleenergia hasznosításra. A legnagyobb szélerősséget Szlovákia 1000 m fölé nyúló hegycsúcsai és hazánkban Hejce és Vilmány térségéhez közeli hegycsúcsok felett találjuk. Itt 100 m magasságban akár iparméretű szélörvények számára is elegendő szélpotenciál állhat rendelkezésre. A háztartási méretű széleenergia hasznosító eszközök számára fontos az alacsony indítási szélesebbség. Az eszközöknek képesnek kell lenniük arra, hogy névleges teljesítményüket már igen alacsony, akár 3-5 m/s elérésekor le tudják adni.

- Az uralkodó szélirány egyértelműen az északi, ennek a nagy gyakoriságú és nagy energiatartalmú szélnek a kihasználása lehet reális.
- Az szélenergia hasznosító eszközök telephelyének kiválasztásakor természetesen figyelembe kell venni mind a természetvédelmi, tájképvédelmi és más műszaki, pénzügyi szempontokat is, hogy a megfelelő minőségű és komolyan előkészített projektek sikeresek legyenek és hozzájáruljanak a térség gazdaságának fejlődéséhez.