

A NAPELEMES ELLÁTÁSI LÁNC FŐBB JELLEMZŐI

Dr. Hegedüs Krisztina, Dr. Hugyecz Attila, Kirchkeszner Csaba – 2022. augusztus 31.

Amint korábbi Elemző perceinkben már szoltunk róla (pl. Elemző percek No. 109), úgy tünik, a globális piacon az időjárásfüggő energiaforrások közül egyre inkább a napelemek „viszik a prímet”: 2022-ben globálisan várhatóan az új szélérőművi kapacitásokat kétszer meghaladó új napelemes kapacitás kerül majd a rendszerbe. Ennek okán a Nemzetközi Energiaügynökség külön kiadványban vette alaposabban szemügyre a napelemek ellátási láncának sajátosságait (IEA (2022): Special Report on Solar PV Supply Chains). Jelen anyagunkban ennek legérdekesebb részeit foglaljuk össze.

Ehhez előbb röviden tekintsük át, hogyan épül fel a napelemek ellátási lánc, vagyis milyen főbb lépésekből áll a napelemes rendszerek gyártása. A ma elterjedt napelemek fő alkotója a szilícium, amit nagy tisztaságú homokból (szilícium-dioxid, SiO_2) nyerünk.

Első lépés: nagy tisztaságú szilícium gyártása: A nagy tisztaságú szilícium előállítása azzal kezdődik, hogy egy olvasztókemencében, igen magas hőfokon (kb. 2000 °C-on) szén hozzáadásával eltávolítják a SiO_2 -ből az oxigént. Az így kapott szilícium 99%-os tisztaságú, így ezt tovább kell tisztítani, hogy az 1%-ban jelenlévő egyéb anyagokat (pl. kalcium, alumínium, vas, foszfor) eltávolítsák. A napelemek gyártásához legalább 6N (ún. 6 kilences, azaz 99,9999%) tisztaságú szilíciumot használnak. Gondoljunk bele, hogy a mikrochip-ek gyártásához akár 11–13N (99,999999999%–99,9999999999%) tisztaságú szilícium szükséges, az ilyen tisztaságnak azonban igen komoly ára van.

Második lépés: szilíciumtömbök és ezekből lapkák gyártása: A nagy tisztaságú szilíciumgyártást követően a napelemhez szükséges megfelelő tisztaságú és kristályszerkezetű tömböket gyártanak. A tömbösítés történhet egykristály (monokristály) növesztéssel (Czochralski-eljárás¹) vagy az ún. Siemens-eljárással², mellyel ún. polikristályos szilíciumtömböket kapunk. A tömböket – azok formázását követően – vékony lapokra szeletelik a megfelelő kristálytani szabályok szerint, ezekből állnak elő a lapkaként ismert részek.

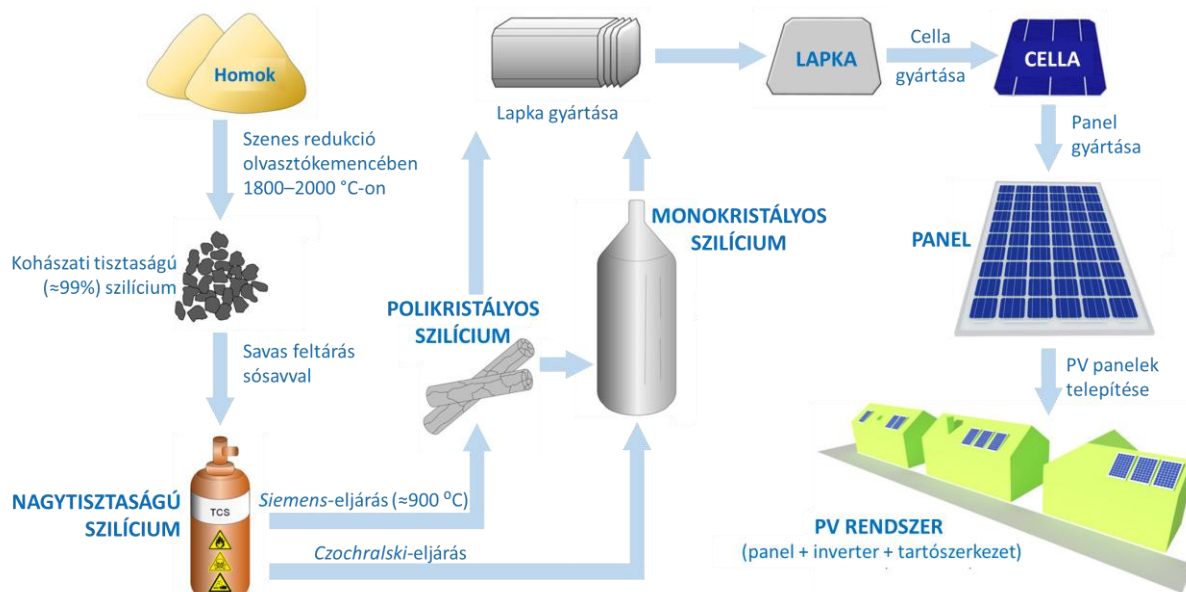
Harmadik lépés: cellagyártás: A lapkákat tisztítják, különböző anyagokkal dópolják³, maratják, tükröződésmentes bevonattal és elektromos csatlakozókkal látják el, hőkezelik és ellenőrzik őket, így állnak elő a cellák.

Negyedik lépés: napelempanel gyártása: a cellákat sorba kötik, egy üveglap és egy műanyag lap közé rögzítik, fém kerettel és elektromos kivezetéssel látják el, majd tesztelik.

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=WSRN1GAnUV0>

² <https://www.youtube.com/watch?v=eypAfmrRpB0>

³ A dópolás azt jelenti, hogy a félvezető anyaghoz szándékosan, jellemzően kis koncentrációban adunk ismert szennyezőket annak érdekében, hogy megváltoztassuk – általában javítsuk – annak elektromos tulajdonságait. A Czochralski-eljárásnál a dópolás már a második lépésnél megtörténik.

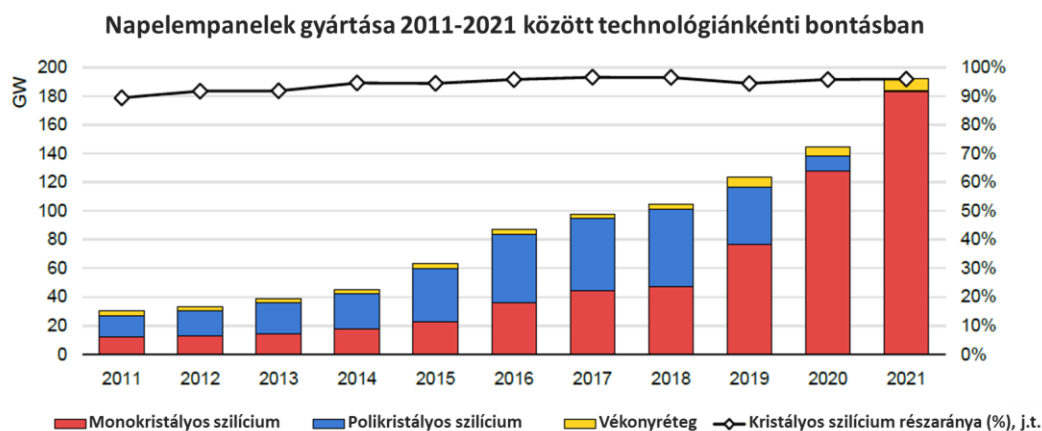


Forrás: ERRA, CHEETAH: Ultra-thin kerfless silicon wafer development, 2022 alapján, némi saját átalakítással
https://www.cheetah-exchange.eu/pv_technologies.asp?i=20

Ezt követően a napelempanelket háztetőkre, vagy földre telepítik, és egy (a napelemek által termelt egyenáramot váltóárammá alakító) inverteren keresztül a fogyasztó belső hálózatához és/vagy a közcélú villamosenergia-hálózathoz kapcsolják, így áll elő egy komplett, működőképes napelemes rendszer.

Az IEA hivatkozott anyagában a szerzők az ellátási láncot e fent felsorolt négy lépésre bontják, így a következőkben mi is e négy lépés érdekességeit taglaljuk. Még egyszer tehát a lépések: (1) nagytisztaságú szilíciumgyártás, (2) lapkagyártás, (3) cellagyártás, (4) napelempanel gyártása.

Míg az elmúlt években a monokristályos és a polikristályos napelemek versenyben voltak egymással, mára a kicsit nagyobb hatásfokkal rendelkező monokristályos napelemek szinte teljes mértékben kiszorították a piacról polikristályos társaikat. A monokristályos napelemek mellett ma már szinte kizárólag a vékonyréteg napelemek kapnak (egyelőre elég kis) szerepet⁴.



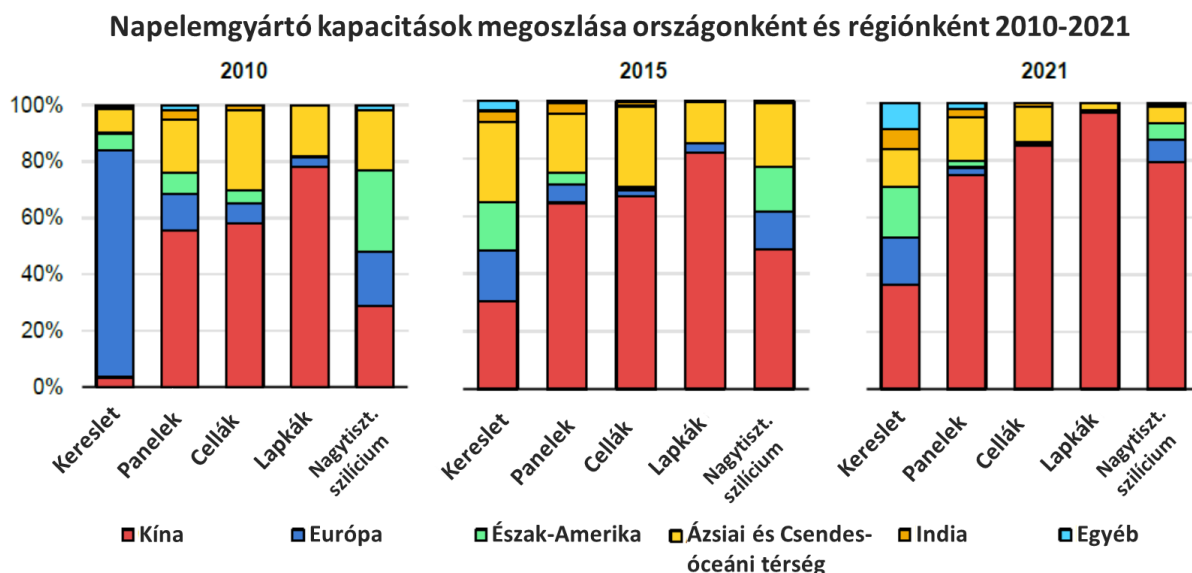
Forrás: IEA (2022), p. 13.

⁴ Anyagunkban az ábrák magyar feliratait saját fordításban készülték.

Az ellátási lánc egyes elemeinek regionális megoszlása, és ennek változása nagyon érdekes képet mutat. Emlékszünk, hogy a 2000-es évek elején az volt Európa víziója, hogy a klímapolitika globális élharcosaként a megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiák, így a napelemek gyártásában élenjáróvá és a technológia legfőbb globális exportőrévé válik. Mára egyértelműen kiderült, hogy ez messze nem így lett.

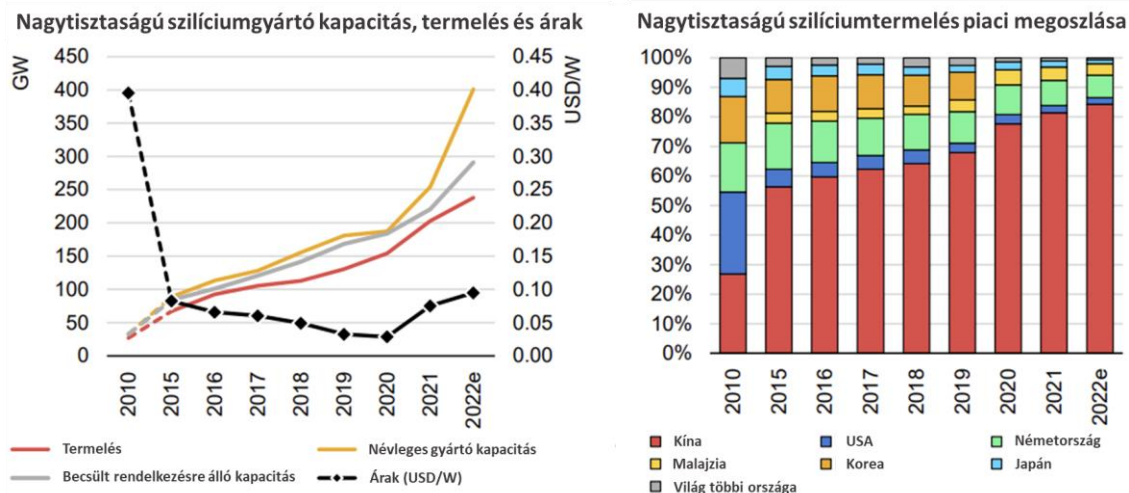
Mindamellet, hogy 2010-ben a napelemek iránti kereslet legnagyobb részét (mintegy 80%-át) Európa adta, már akkor is látszott, hogy Kínában mind a kereslet, mind a gyártás terén erős versenytársra lelt. Akkoriban a nagy tisztaságú szilíciumot gyártó kapacitások körülbelül 20%-át találhattuk meg Európában, a lapka- és cellagyártó kapacitások igen kis része csoportosult kontinensünkön, a napelempanel-gyártó kapacitásoknak pedig körülbelül bő 10%-a működött az öreg kontinensen.

Mára az ellátási lánc 4 fő elemének európai kapacitásai alig-alig ismerhetők fel a globális gyártókapacitások között (ld. lenti ábránkat): a lapkagyártó kapacitások közel 100%-a Kínában található, de a nagy tisztaságú szilícium, a cellák és a panelek gyártókapacitásai is 90-100%-ban Kínában és az ázsiai- és csendes-óceáni térségben koncentrálnak, és ezek között is egyértelműen Kína a meghatározó szereplő.



Forrás: IEA (2022), p. 18.

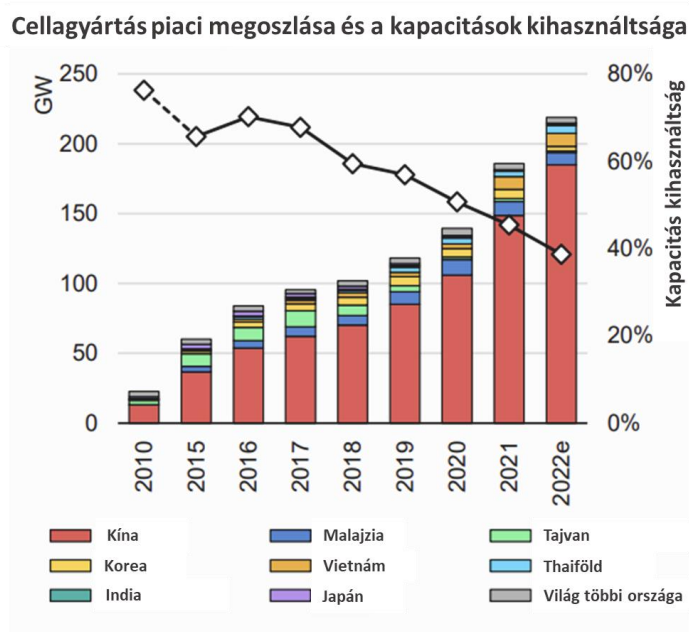
A nagy tisztaságú szilícium gyártása és gyártókapacitása az elmúlt években érdemben nőtt (ld. lenti ábránkat). **A globálisan gyártott mennyiség három és félszeresére emelkedett, Kína részesedése pedig ezen belül emelkedett 57%-ról 84%-ra**, vagyis a kínai gyártás 7 év alatt megötszöröződött, Kína valósággal letarolta a piacot. (Ennek okára később még visszatérünk, de előzetesen megjegyezzük, hogy e gyártási folyamat igencsak energiaigényes.)



Forrás: IEA (2022), p. 22.

Az ellátási láncban a **lapkagyártás** terén a legnagyobb a földrajzi koncentráció: a **gyártókapacitás 97%-a Kínában található** (ez már 2010-ben is 80% volt), a gyárak kihasználtsága mintegy 50% körüli.

A **globális cellagyártás 2015 és 2021 között megháromszorozódott, és lényegében véve kizárólag Kínában bővült** (ld. ábránkat lent), **Kína részesedése 80% feletti**. A kínai gyártókapacitások kihasználtsága minden további nélkül fokozható, ugyanis az már 2021-ben is 300 GW-ot ért el (ábránk nem a gyártókapacitást mutatja, hanem magát a gyártást!). E közepes kihasználtság ellenére Kínában további 250 GW cellagyártó kapacitás kiépítése van napirenden.

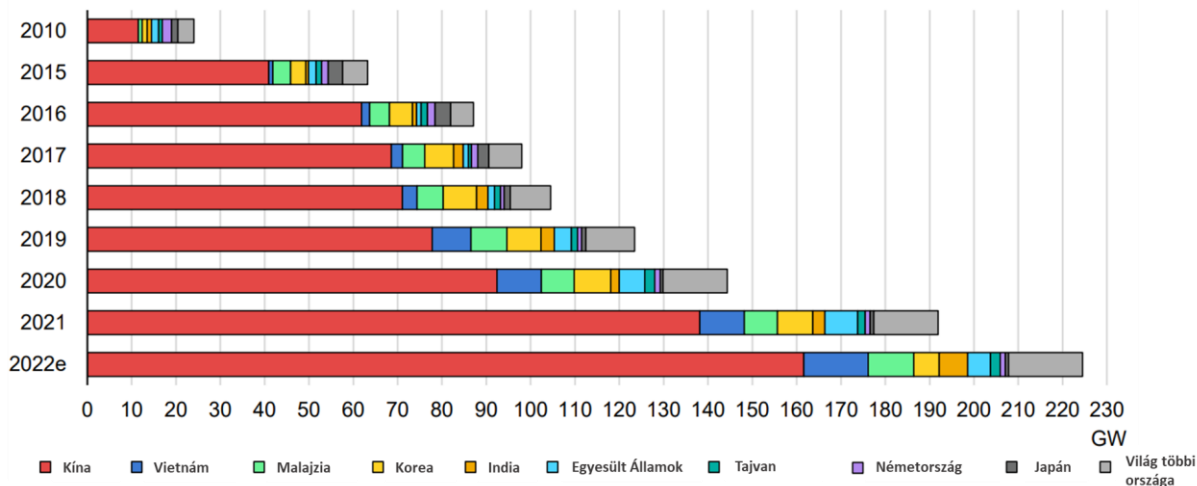


Forrás: IEA (2022), p. 24.

A **napelempanel gyártásáról** (összeszereléséről) elmondható, hogy az összeszerelő üzemek viszonylag alacsony beruházási költséggel megvalósíthatók, és az összeszerelés alacsony know-how-igényű. A világ 38 országában működik ilyen összeszerelő üzem. Mindezeket túl elmondható, hogy **a kínai napelempgyártás 2010-2022 között mintegy 14-**

szeresére nőtt, miközben a világ többi részében „csak” megötszöröződött. Ennek megfelelően **ma a napelempanel gyártása 70%-ban Kínához köthető**, további jelentős gyártó Vietnam és Malajzia, a közepesek közé sorolható Korea, India és az Egyesült Államok.

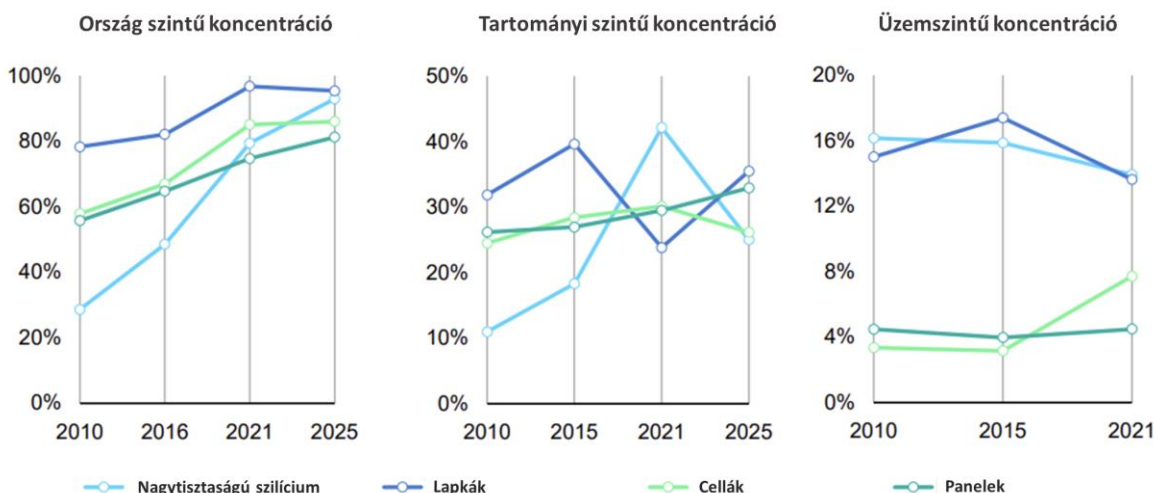
Napelempanel gyártásának alakulása országok szerinti bontásban 2010-2022 között



Forrás: IEA (2022), p. 28.

Az elmúlt 5 évben az Európai Unió a felszerelt napelemek 84%-át, az USA 77%-át, India pedig 75%-át importból szerezte be. Sőt, az ezekben az országokban összeszerelt modulok is 60-80%-ban importált alkatrészekből álltak. A napelem-alkatrészek nemzetközi kereskedelme egyébként alacsony, hiszen azokat Kína leginkább saját határain belül használja fel. A nagy kínai gyártási dominancia ellenére 2017 és 2021 között a napelempanel-export harmadát a délkelet-ázsiai panelgyártók adták, az export főként az Egyesült Államokba és Európába irányult. Ennek oka, hogy a Kínából származó importra több országban különféle kereskedelemkorlátozó intézkedések vannak érvényben. Mindezek ellenére Kína számára a napelemes iparág óriási jelentőségű: **az elmúlt 5 évben Kína külkereskedelmi egyenlegtöbbletének 6%-át a napelemek tették ki.**

A napelemes ellátási lánc, vagyis **a különböző gyártási lépések koncentráltasága azonban nem csak országos szinten, hanem tartományi, de akár üzemszinten is jelentkezik.** Noha korábban láttuk, hogy a nagy tisztaságú szilíciumgyártás, a lapkagyártás, a cellagyártás és a napelempanel összeszerelése nagyrészt (80+%) Kínában koncentrálódik, ez a kép nem eléggé tükrözi a koncentrációt, ugyanis a gyártás sokszor sokkal kisebb területre összpontosul. **A fenti négy gyártási folyamat 25-35%-a egyetlen kínai régióban valósul meg,** de elmondható az is, hogy **a világ nagy tisztaságú szilíciumgyártásának és lapkagyártásának mintegy 13%-a 2021-ben egyetlenegy kínai gyárból került ki** (ld. lenti ábránkat). Cellagyártásban és napelempanel-összeszerelésben a világ legnagyobb gyára a globális output 4-7%-át adja.

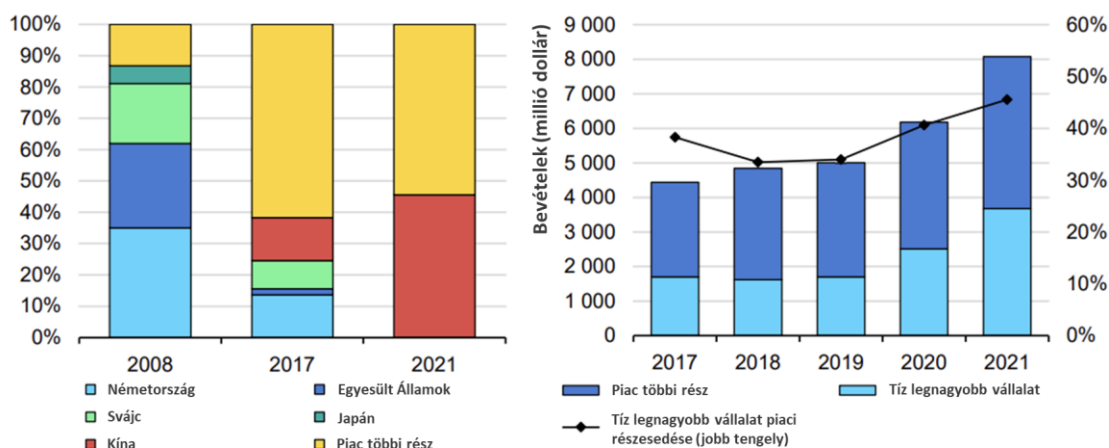


Forrás: IEA (2022), p. 59.

Cégszinten elmondható, hogy 5 cég felel a globális nagy tisztaságú szilíciumgyártás 72%-áért, 5 vállalat adja a globális lapkagyártás 76%-át, a cellagyártásnál ez az adat 50%, a napelempanel gyártásában pedig 58%.

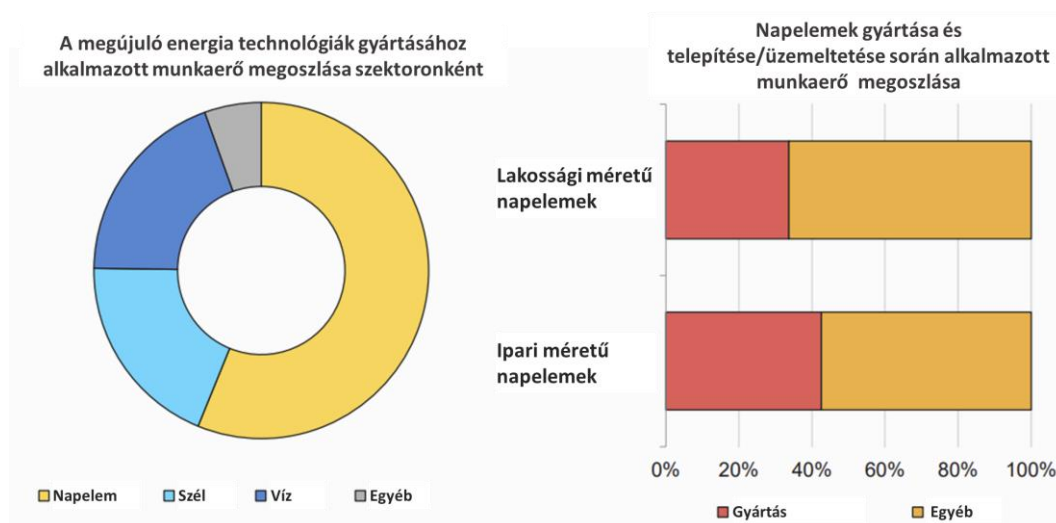
Célszerű mindemellett egygyel hátrébb is lépni, és megnézni, **mely országok gyártják a napelemek (szilícium, lapkák, cellák stb.) gyártásához szükséges berendezéseket és gépsorokat**, ugyanis az elmúlt években ez is drámaian megváltozott. 2008-ban a gyártósorok 10 legfőbb gyártójának piaci részesedése 90% volt, és ezek négy országból, Németországból, az Egyesült Államokból, Svájcban és Japánból kerültek ki. Az elmúlt években a súlypont e téren is egyértelműen Kína felé tolódott el. **Az ilyen berendezéseket és gyártósorokat előállító cégek száma 2007-2021 között 150%-kal, 1900-ra nőtt, ezen belül a kínai cégek száma megnégyszereződött, 700 fölé emelkedett. 2021-re elmondható, hogy mind a tíz legnagyobb berendezésgyártó vállalat kínai, piaci részesedésük 45% feletti.**

Tíz legnagyobb vállalat piaci részesedése a napelem gyártásához szükséges berendezések bevételéből



Forrás: IEA (2022), p. 35.

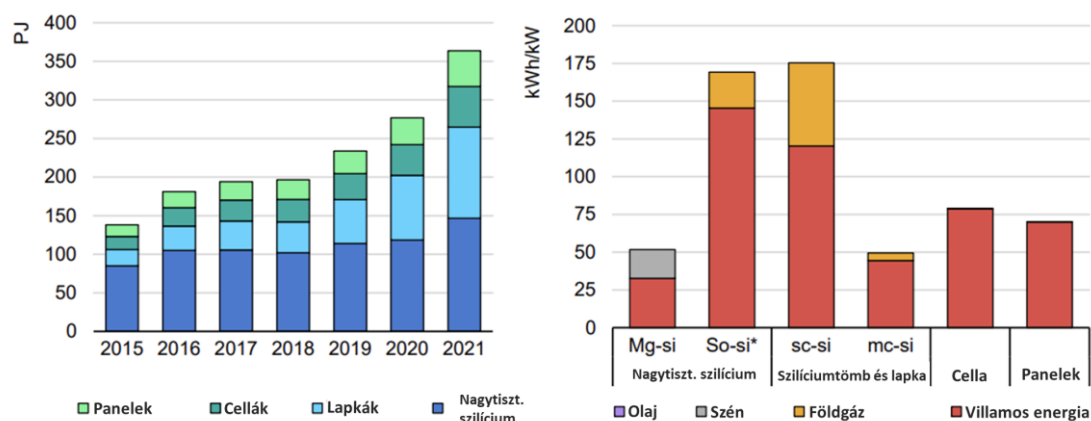
Mindezek alapján nem meglepő, hogy **a napelemek ellátási láncával összefüggő munkahelyek 90%-a Kínában és Ázsiában jött létre**. A modern megújuló energiaforrások közül (az iparág méretéből és a napelemtelepítések munkaerő-igényessége miatt is) globálisan a napelemes szektor foglalkoztatja a legtöbb munkaerőt. **Az iparági munkahelyek mintegy 35-40%-a keletkezik a napelemeket (és alkatrészeiket) gyártó szektorban, a többi a napelemek telepítése és karbantartása során a napelemeket felhasználó országokban jön létre**. Munkahelyteremtés terén tehát a fent már említett korábbi európai, gyártást célzó elképzelések helyett **Európának a berendezések szállítása, telepítése és karbantartása jutott** (leszerelésről még nem nagyon beszélhetünk), **a gyártás a sok európai innováció és megannyi európai szabadalom ellenére alig-alig teremt európai munkahelyet**.



Forrás: IEA (2022), p. 45.

A **napelemek gyártáshoz évente felhasznált energia mennyiségét** tekintve elmondható, hogy az 2021-re 350 PJ fölé emelkedett (ez a magyar éves primerenergiaigény kb. 30%-a), leginkább a nagy tisztaságú szilícium és a lapkák gyártása energiaigényes. A felhasznált energia **döntő többsége villamos energia**.

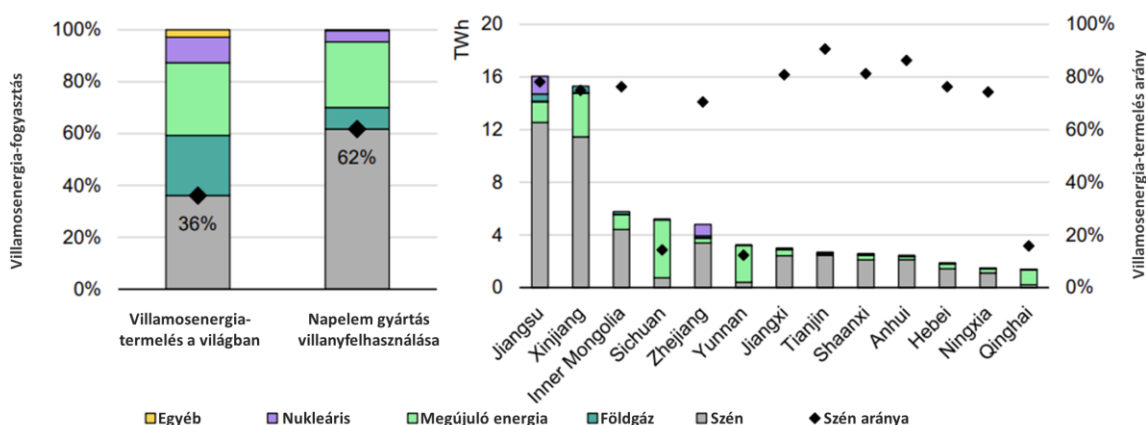
A napelemek gyártáshoz évente felhasznált energia mennyisége 2015 és 2021 között (bal oldali ábra) valamint az egyes gyártási lépések energiafelhasználásának intenzitása (jobb oldali ábra)



Forrás: IEA (2022), p. 37.

A **gyártás szén-dioxid-intenzitása** nyilvánvalóan attól függ, az adott országban/régióban a napelemgyártás ellátási láncában felhasznált villamos energiát milyen forrásból állítják elő. A helyzet e téren a kínai gyártódominancia miatt nem rózsás: a szén részaránya 62%. Az IEA anyaga a PV-ellátási láncban felhasznált villamos energia mennyiségét és primer forrásait az egyes kínai tartományokra lebontva is közli, mely alapján látható, hogy **a napelemes ellátási láncoknak telephelyet biztosító, legnagyobb villanyfogyasztó tartományokban a szén villamosenergia-termelésben mért részesedése közel 80%, vagyis a napelemek gyártása leginkább szénerőművekből származó villamos energiára épül.**

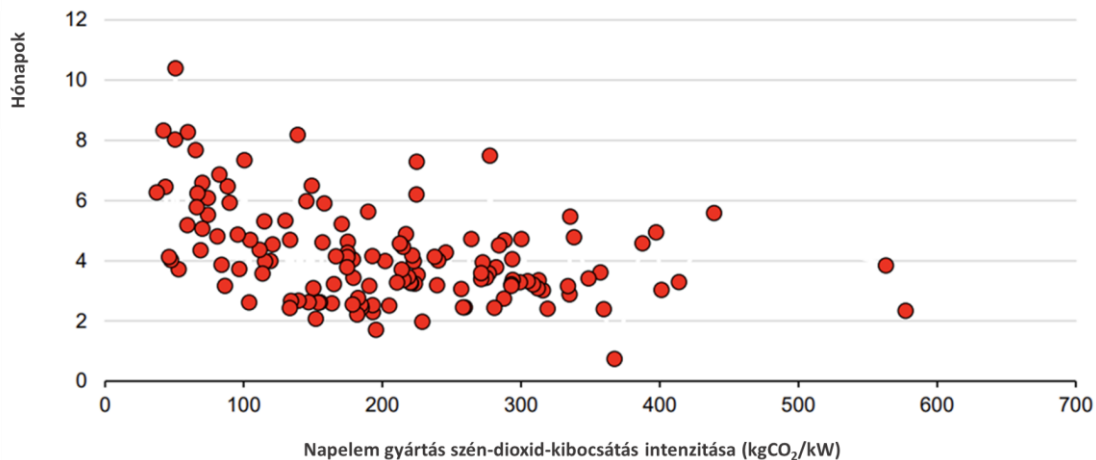
Villamosenergia-termelés energiahordozók szerinti megoszlása világszinten és a napelemek gyártásához (bal oldali ábra) valamint Kínában tartományi szinten (jobb oldali ábra)



Forrás: IEA (2022), p. 38.

A gyártás energia- és szén-dioxid-intenzitása a gyártástechnológia fejlődésével és változásával természetesen folyamatosan csökken, **a CO₂-intenzitás 2005-2021 között mintegy harmadára esett** (2021-ben $\approx 280 \text{ kgCO}_2/\text{kW}$ napelem). E pozitív változás legfőbb és szinte kizárólagos oka a nagytisztaságú szilíciumgyártásban keresendő, melynek alapanyagigénye és energiaigénye a vonatkozó időszakban érdemben csökkent. A fenti fajlagos értéket érdemes kontextusba helyezni, és megnézni, hogy az elkészült napelem ezt a szén-dioxid-mennyiséget mennyi idő alatt takarítja meg azáltal, hogy termelésével más erőműveket szorít ki a rendszerből. Ez nyilván országról országra, a villamosenergia-mix függvényében és a napsütéses órák számától is változik, de a nagyságrend a lényeg: országoktól függően ez az érték néhány hónap, vagyis **az adott napelem gyártása során, az ellátási láncban kibocsátott CO₂-t a napelem 2-10 hónap alatt „hozza vissza megtakarításként”,** vagyis azzal, hogy fosszilis erőműveket szorít ki a piacról (ld. alábbi ábránkat, melyen egy-egy piros pötty egy országot mutat).

Napelem gyártáshoz kapcsolódó szén-dioxid-kibocsátás intenzitása és a gyártáshoz kapcsolódó kibocsátás megtakarítási ideje

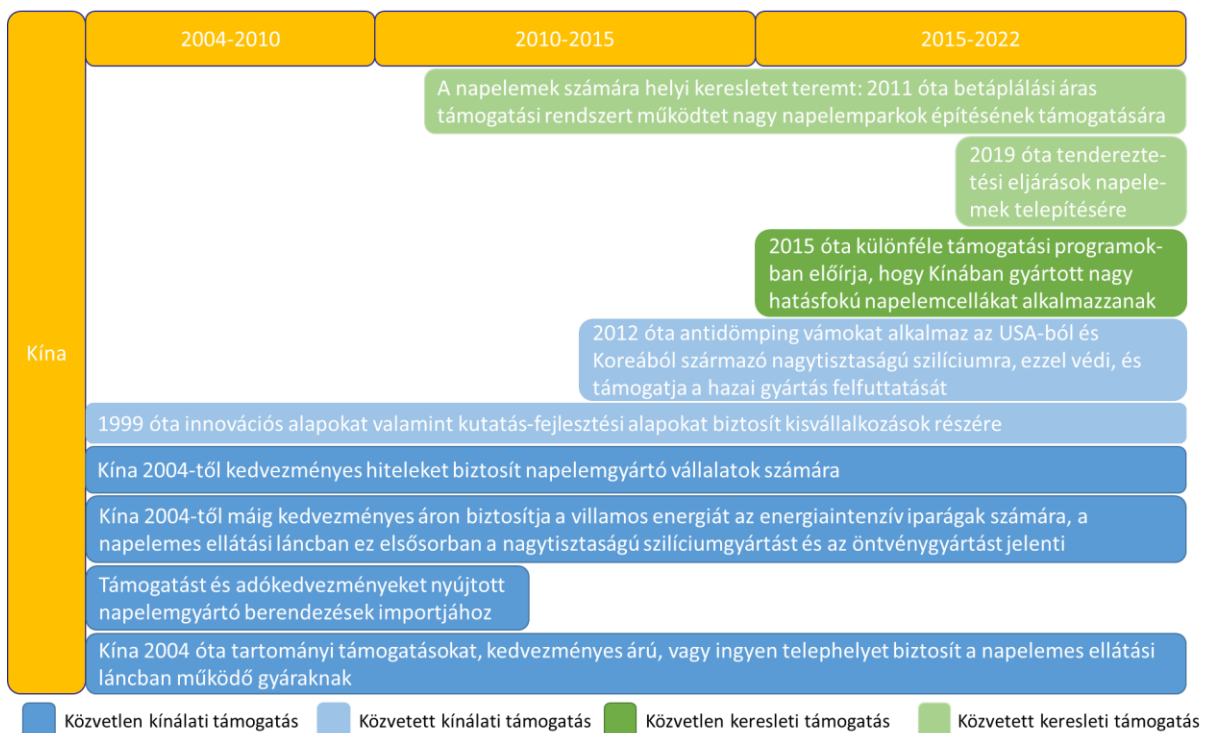


Megjegyzés: Minden megjelenített piros pont egy országot képvisel. Azt feltételezve, hogy az adott országban az újonnan telepített napelem fosszilis energiahordozót vált ki.

Forrás: IEA (2022), p. 41.

Vélhetően többekben felmerül a kérdés, hogy **Kínának hogyan is sikerült az iparágban ekkora dominanciát elérnie**. A válasz viszonylag egyszerű, és közgazdasági tankönyvekbe való. **Kína többféle közvetlen** (egy-egy projekthez kapcsolódó) **és közvetett** (befektetésösztönző) **támogatást nyújtott** az elmúlt évtizedekben, **mind a kínálati oldali szereplőknek** (napelem gyártáshoz kapcsolódó tevékenység), **mind a keresleti oldali szereplőknek** (napelemek felhasználói). **A Kína által nyújtott támogatásokat az alábbi ábrán foglaltuk össze.**

Napelemek gyártásához biztosított támogatások Kínában 2004-2022 között



Forrás: IEA (2022), p. 111.

Fentiek után zárásként mindössze egy, ámde annál fontosabb dologra hívjuk fel a figyelmet: **a napelemes ellátási láncban az ellátásbiztonság teljesen más tartalmat nyer, és össze sem hasonlítható a fosszilis energiahordozók ellátásbiztonsági kockázataival. Ha a napelemes ellátási láncok esetleges megszakadása esetén az új napelempanelok gyártása veszélybe is kerül, a már felszerelt napelemet ez nem érinti, az továbbra is termel.** Ez lényegi különbség, és kiemeli a napelemek azon előnyét, hogy a napelemek üzemanyag-ellátása noha hektikus és időjárásfüggő, emberi erők által nem megszakítható.

Ez volt Elemző percek sorozatunk 125. tagja.