

Pécsi Tudományegyetem

Közgazdaságtudományi Kar

SZAKDOLGOZAT

Baumann Bence

Pécs, 2025

Pécsi Tudományegyetem

Közgazdaságtudományi Kar

MSc Pénzügy Mesterszak

**Az Orosz invázió okán fellépő energetikai
sokkhatás európai gázpiacokon realizált
hatásvizsgálata**

Baumann Bence

Neptun kód: Z5B2DG

Témavezető neve: Dr. Tóth-Pajor Ákos

Adjunktus

Pécs, 2025

Tartalomjegyzék

Bevezetés	1
1. A földgáz szerepe a gazdaságban	4
1.1. Kiemelt szerep az energetikai átmenetben	4
1.2. A földgáztól való átállás: Alternatívák és korlátaik	8
1.3. A megújuló energiaforrások korlátaik	10
2. magyar energetikai vonatkozások.....	12
2.1. Magyar Energia Mix	12
2.2. Az atomenergia és a földgáz dinamikája Magyarország energiamixében: A hálózat Gerince és Izmazata	15
2.2.1. Az atomenergia output.....	15
2.2.2. A kombinált ciklusú gázturbinák erénye Paks output delta imitációjával szemben	15
3. Az európai földgázpiac szerkezete: A main hubok és az mgy.....	18
4. A kulcsszereplők azonosítása Import és Export volumenek alapján	22
4.1. 2021-es vezetékes földgáz (HS: 271111) export és import adatok megismerése.....	23
4.2. A globális földgázpiac 2021-ben, a konfliktus előtt.....	30
4.2.1. Kulcsfontosságú importőrök.....	31
4.2.2. Strukturális gyengeség az Európai gazdaság szívében: A német földgázdependencia	31
4.3. A globális földgázpiac dinamikái: 2021–2023	33
4.4. Miért vallottak kudarcot az orosz földgázsankciók?	35
5. Görgetett ICE TTF future derivatív kontraktusok front tenor záróár alapú idősoros rizikóanalízise programatikusan.....	37
5.1. Az idősor megválasztásának indoklása	37
5.2. ICE TTF front tenor (TFN1!) idősoros vizsgálata	41
5.2.1. Az idősor és az árfolyameloszlás tanulmányozása	41
5.2.2. Kísérlet az Árak időkölttség szerinti harmonizálására (Cost of Carry)	43

5.2.3. Konfliktust megelőző piaci gyengeségek, avagy ne írjunk mindent az energetikai sokk számlájára	47
5.2.4. Az alkalmazott kockázatomérési technikák bemutatása	50
5.3. A görgetett ICE TTF front tenor Variancia (Variance, S^2) analízise programmatikusan..	51
5.4. Szemivariancia (Semi-Variance, SV)	59
5.5. Value at Risk (VaR) és Conditional Value at Risk (CVaR)	62
6. Az európai energiapiac kockázatkezelési követelményei	67
6.1.1. A VaR és CVaR szabályozási standardjai	67
6.1.2. Kalibrációs paraméterek	67
6.1.3. Földgázkereskedési megfontolások	68
7. Összegzés	70
Irodalomjegyzék.....	72
Függelék	76

Ábrajegyzék

1. ábra: Az amerikai áramtermelés okán fellépő CO₂ kibocsátás teljes kibocsátásra vetített hányada	5
2. ábra: Az Amerikai CO ₂ emisszió input oltalának idősoros vizualizációja.....	6
3. ábra: Az európai gázrégiók	19
4. ábra: HS 271111 exportvolumen arányok dollárban denominálva országokként csoportosítva kontinens szerint színkódolva 2021-ben	24
5. ábra: HS 271111 importvolumen arányok dollárban denominálva országokként csoportosítva kontinens szerint színkódolva 2021-ben	25
6. ábra: Európa gázhálózati térképe	28
7. ábra: Nettó földgázmérleg (mrd USD, +/- top 7) - 2021	31
8. ábra: Nettó földgázmérleg (mrd USD, +/- top 7) - 2023	34
9. ábra: Földgázexport bevételek idősoros ábrázolása, Oroszországot kiemelve	36
10. ábra: TFN1! idősor.....	41
11. ábra: TFN1! napi záróár sűrűségeloszlása	42
12. ábra: TFN1! napi záróár sűrűségeloszlása (financial carryvel).....	45

13. ábra: EURINTR idősor	46
14. ábra: Annualizált lineáris TFN1! záróár variancia	53
15. ábra: Annualizált lineáris TFN1! záróár logaritmikus variancia	54
16. ábra: TFN1! 30 napos görgőcariancia	57
17. ábra: TFN1! idősor.....	58
18. ábra: TFN1! idősor görgő SV (20 napos ablak)	61
19. ábra: TFN1! VaR és CVaR 3 havi frekvencia long és short kitettség esetében, ablak = 1y	63
20. ábra: Vanilla Long és Short hozam VaR spread.....	64
21. ábra: TFN1! VaR és CVaR 3 havi frekvencia, ablak = 3,	65

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: Bruttó villamosenergia-termelés magyarországon, GW/h - ban	13
---	----

BEVEZETÉS

Az alábbi dolgozat középpontjában az európai földgázpiacot ért energetikai sokkhatás áll, amelyet az orosz-ukrán konfliktus váltott ki. A témaválasztás személyes és szakmai motivációból is fakad: pályám első állomásán, a *Citigroup*-nál, először a mezőgazdasági kereskedelmi osztály kontrollereként (*Product Control Analyst*), majd később a földgázpiac kontrolleri pozíciójában (*Intermediate Product Control Analyst*) dolgoztam. Ekkor szembesültem azzal, milyen összetett és misztikus dinamikusan változó szektor a nyersanyagkereskedelem kevesek által megértett világa, különösen egy geopolitikai válság közepette. Bár a feladataim kezdetben főként adminisztratív és riportálási jellegűek voltak, a piac működésének komplexitása és a váratlan ármozgások mélyen felkeltették az érdeklődésemet. Ekkor kristályosodott ki bennem, hogy nem elég csupán szemlélőnek maradni: szeretnék aktív résztvevője, értő elemzője lenni a piacnak, és megérteni a mögöttes folyamatokat.

A Citibanknál szerzett tapasztalatok világossá tették számomra, hogy mind technikai, mind elméleti tudásom hiányos a piac mélyebb megértéséhez, ezért tudatosan kezdtem el építeni a szakmai alapokat: pénzügyi, statisztikai és informatikai ismereteimet fejlesztettem, és a befektetési bank világából az asset management területére léptem át. Az itt szerzett tapasztalatok – különösen a technikai eszközök gyakorlati implementációjának lehetősége mint, például SQL, Power Query, VBA és mesterséges intelligencia alkalmazása a napi munkában – új dimenziókat nyitottak meg előttem. Mégis, egy fontos mérföldkő hiányzott: a Python programozási nyelv elsajátítása, amely nélkülözhetetlen a modern kvantitatív elemzéshez és a pénzügyi modellezéshez. A dolgozat írásával végre szembenéztem ezzel a kihívással is, és elhatároztam, hogy egy olyan témát választok, amely elég összetett és aktuális ahhoz, hogy motiváljon a legjobb teljesítményre.

A dolgozat elkészítése során nem csupán szakmai tudásom bővült, hanem önbizalmam is megerősödött: a disszertáció elkészültével jelentkeztem ösztöndíjra az FRM (*Financial Risk Manager*) minősítés finanszírozására, és pont a leadás előtt pályázatom el is nyerte a sikeres bírálatot az *Aegon Asset Management* - nél. A földgázpiac elemzése, a kockázatkezelési technikák gyakorlati alkalmazása és a programozási technikák integrálása mind hozzájárultak ahhoz, hogy szakmai identitásom egy magabiztos kibontakozásnak induljon.

A dolgozat központi kérdése: hogyan változtatta meg az orosz-ukrán konfliktus az európai földgázpiacot, milyen piaci és kockázati dinamikák alakultak ki, és ezek milyen kihívásokat támasztanak a kockázatkezelés és a szabályozás számára? A vizsgálat fókuszában az ICE TTF (*Title Transfer Facility*) határidős kontraktusainak idősoros elemzése, a piaci volatilitás, valamint a *Value at Risk* (VaR) és *Conditional Value at Risk* (CVaR) mutatók alkalmazása áll.

A dolgozat első fejezete a földgáz gazdasági szerepét és az energetikai átmenetben betöltött pozícióját mutatja be. Kitér a földgáztól való átállás alternatíváira és azok korlátaira, valamint a megújuló energiaforrások kihívásaira. Ezt követően a magyar energiamix és az atomenergia-földgáz dinamika kerül bemutatásra, amely jól példázza a közép-európai országok energiaellátási kihívásait.

A harmadik fejezet az európai földgázpiac szerkezetét, a főbb kereskedelmi központokat és a magyar piac sajátosságait tárgyalja. A negyedik fejezet a kulcsszereplők – importőrök és exportőrök – elemzését végzi el, különös tekintettel a konfliktus előtti és utáni kereskedelmi mintákra, valamint a német földgázfüggőségre.

A dolgozat központi részét az ICE TTF future kontraktusok idősoros kockázatelemzése adja. Itt kerül sor a front tenor záróárak statisztikai vizsgálatára, a variancia, szemivariancia, VaR és CVaR mutatók programozott számítására, valamint a piaci volatilitás szerkezeti változásainak feltárására. A kockázatelemzés során kiemelt figyelmet kapnak a geopolitikai események, a piaci sokkhatások és azok aszimmetrikus gazdasági következményei.

A dolgozat zárófejezete az európai energiapiac kockázatkezelési és szabályozási kihívásait, valamint a legújabb uniós szabványokat és piaci trendeket elemzi. Külön hangsúlyt kapnak a Bázeli III/FRTB keretrendszer újdonságai, a likviditási követelmények, a pozíciós limitek és a REMIT II szabályozás.

A dolgozat elkészítése során végig arra törekedtem, hogy hidat képezzek a gyakorlati pénzügyi tapasztalatok, a kvantitatív elemzés és a programozás világa között. A Python programozási nyelv alkalmazása lehetővé tette, hogy az idősoros elemzéseket, a kockázati mutatók számítását és a piaci sokkhatások elemzését transzparens, reprodukálható módon valósítsam meg. A dolgozatban bemutatott kódok, adatforrások és módszertanok nem csupán elméleti, hanem gyakorlati útmutatóul is szolgálhatnak mindazok számára, akik a

földgázpiac vagy a szélesebb értelemben vett energiapiac kockázatkezelési kérdéseivel foglalkoznak.

A személyes motivációm – hogy a piac aktív résztvevőjévé váljak, és képes legyek a komplex piaci folyamatok elemzésére – végigkísérte a dolgozat minden lépését. Az asset management területén szerzett tapasztalatok, a technikai eszközök gyakorlati alkalmazása és a programozás elsajátításának első lépéseinek megtétele mind hozzájárultak ahhoz, hogy a dolgozat ne csupán elméleti, hanem gyakorlati értékkel is bírjon.

Habár vajmi kevés okot adtam arra hogy bárki azt gondolja hogy akár egy napon még világszínvonalat képviselő banki szakember is válhat belőlem, szeretném megköszönni mindazoknak akik így, vagy úgy de támogattak ezen az úton. Köszönöm megboldogult nagymamámnak és nagyapámnak hogy még a rendkívül turbulens középiskolás pályafutásom alatt is csak a legjobbat látták bennem és szentül hitték hogy megtalálom az utamat. Végezetül, szeretném megköszönni Balla Dománnak az inspiráló diskurzusokat a témáról, a piacról, a kockázatkezelésről, inputjai számos aspektusban formatívan hatottak, és csak reménykedem benne, hogy szoros szakmai és személyes barátságunk kiálja az idő próbáját és közben kedves felesége sem örül meg.

A disszertációt a mindenkori EUPG PC csapatának ajánlom.

1. A FÖLDGÁZ SZEREPE A GAZDASÁGBAN

A földgáz, mint fosszilis tüzelőanyag, természetes úton képződött szénhidrogén keverék, amely főként metánból (CH_4) áll, egyben tartalmaz etánt, propánt és butánt is. Az üledékes kőzetekben, több millió év alatt, magas nyomás és hőmérséklet hatására alakul ki, majd csapdába esik a föld alatti rétegekben. Tiszta formájában színtelen és szagtalan, ezért biztonsági okokból általában merkaptánt adnak hozzá, hogy szivárgás esetén könnyebben észlelhető legyen. Emellett a földgáz égése tisztább, mint más fosszilis tüzelőanyagoké, hiszen főként szén-dioxidot és vízgőzt termel, bár az előbbinél kisebb mennyiségű kén-dioxid és részecske kibocsátással jár az IPCC (2021) munkacsoportjának megállapításai alapján.

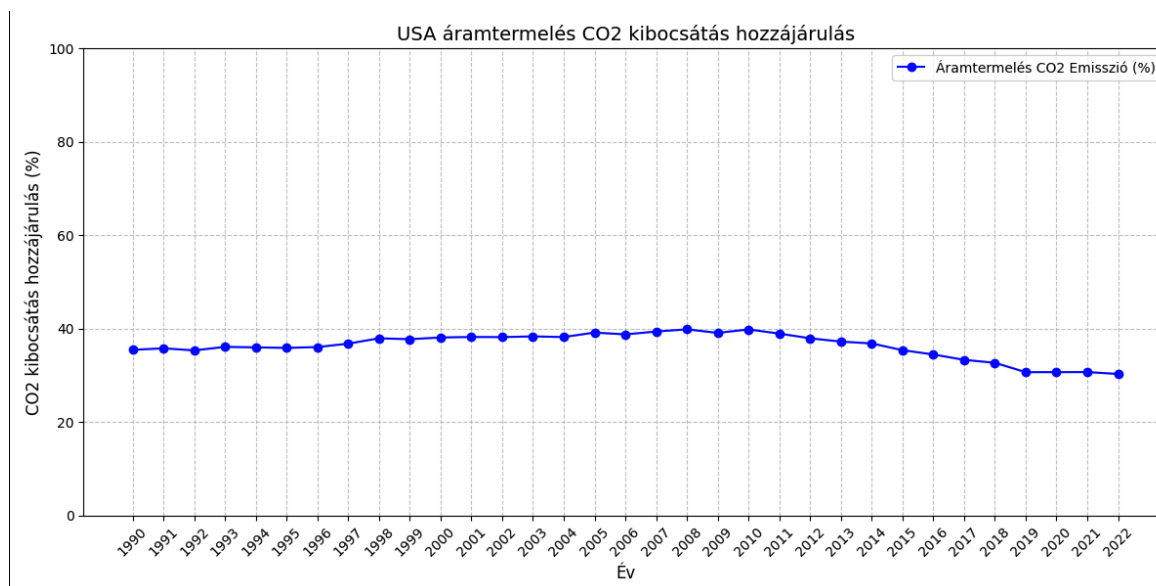
Fontos energiaforrásként szolgál mind a háztartási, mind az ipari szektorban, többek között villamosenergia-termelésben, fűtésben, valamint vegyipari és műtrágyagyártásban. A kitermelés során megfigyelhető technológiai újítások, például a hidraulikus repesztés, jelentősen növelték a globális kínálatot, ám ezzel együtt újabb környezeti kihívásokat, például a metánszivárgás problémáját is előtérbe helyezték. A változó összetétel miatt a gázpiaci árakat nem az űrmérték, hanem a fűtőérték alapján határozzák meg, ami különböző mérési egységekben jelenik meg az európai piacokon, mint például megawatt-óra (MW/h) vagy brit fűtőegység (BTU).

A globális energiamix átalakulása, melyet az éghajlatváltozás elleni küzdelem és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése indokol, egyre inkább a földgáz „híd-üzemanyagként” való alkalmazását eredményezi. Bár rövid távon előnyös lehet a tisztább égése miatt, hosszú távon a metán kibocsátás kérdése és a környezeti fenntarthatóság biztosítása vitatott marad (IEA, 2022).

1.1. Kiemelt szerep az energetikai átmenetben

Ahogy említettük, az elsősorú felhasználási terület a villamosenergia termelés, ahol az elmúlt évtizedekben kardinális témakörre nőtte ki magát a környezetszennyezés kérdésköre mind a politikai döntéshozatalban, mind a gazdasági döntések és a villamosenergia termelés gyakorlatában. A villamosenergia-rendszerek összetettsége miatt egy adott energiaforrásnak tulajdonítható kibocsátások és káros rövid, illetve hosszú távú szennyezés nyomon követése

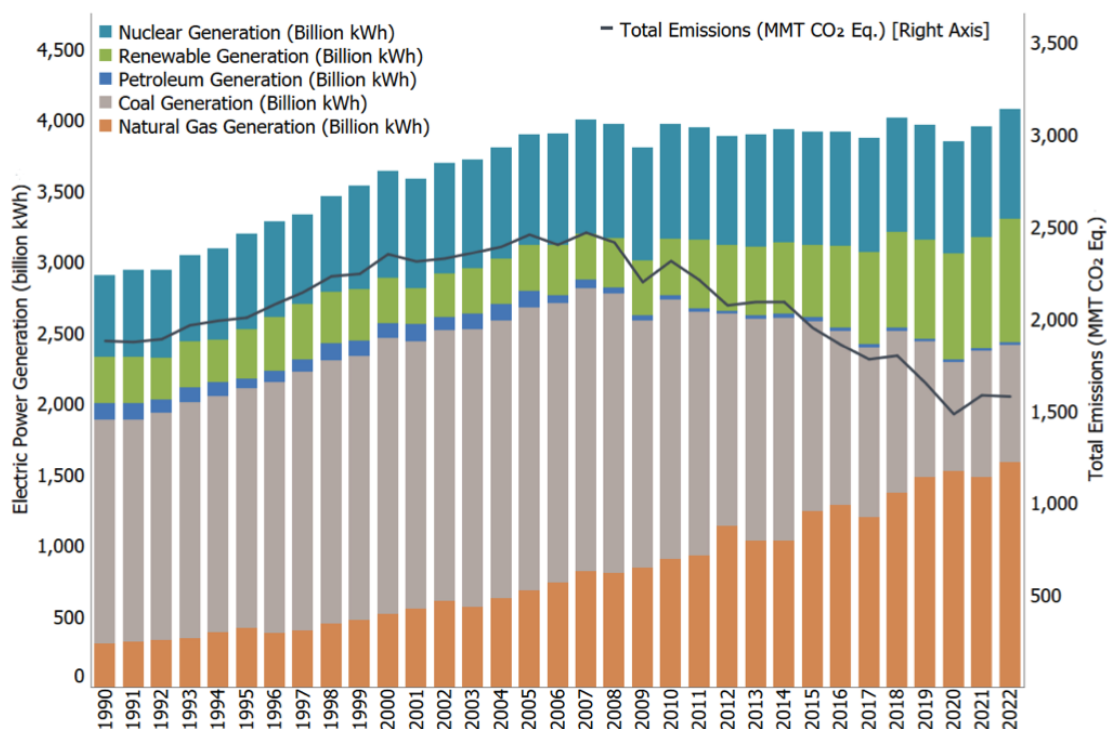
az elektromos termelés okán egy kifejezetten ijesztő kihívás, de számos környezeti hatás szempontjából elengedhetetlenek ezen tanulmányok. Jelenleg nincs konszenzus a kibocsátások számszerűsítésének általánosan elfogadott módszertanáról (Ryan et al., 2016). Ellenben, hogy kontextusba helyezzük a téma fontosságát érdemes a teljes CO₂ kibocsátás arányát szembe helyezni a villamosenergia termelés okán keletkezendő becsült szén-dioxid becsült kibocsátásával. Rendre a CO₂ azért került kiemelésre, mert ez a legjelentősebb, leghosszabb ideig tartó és mindent átható üvegházhatású gáz, és a forrásai széles körben elterjedtek, szorosan kapcsolódnak a emberi tevékenységekhez, és mind a globális felmelegedésre, mind az óceánok elsavasodására gyakorolt hatása központi szerepet játszik az éghajlatváltozás kezelésében. A CO₂-kibocsátás csökkentését a környezeti hatások mérséklésének sarokkövének tekintik világszerte. Tekintettel arra, hogy globálisan és generikusan értekezünk ebben az alfejezetben a földgáz és a villamosenergiatermelés környezeti hatásáról érdemes lenne egy globális idősort megvizsgálni, ám átfogóan erről megbízható adat nem lelhető fel. Ennek okán szemléltetésképpen az USA adatait választottam annak okán, hogy rendre precíz, erősen szabályozott és pontos beszámolók jellemzik a nemzetet, továbbá úgy gondolom az USA ezen dimenzióbéli megvizsgálása vélhetően pontos generikus képet fog nekünk adni a fejlett országokról e téren.



1. ábra: Az amerikai áramtermelés okán fellépő CO₂ kibocsátás teljes kibocsátásra vetített hányada

Forrás: Saját szerkesztés EIA (2022) A Monthly Energy Review alapján

Idősorosan megvizsgálva jól látható, hogy évtizedek óta stabilan a harmadát, pontosabban az időszakot tekintve 36,36%-át adja a kibocsátásnak az energiatermelés szektor, amely mint szinguláris szektor a legnagyobb kibocsátó stabilan az adattáblát tekintve. 2010-ig a szektor emisszióhányada enyhe növekvő tendenciát mutatott, majd feltehetően az emissziócsökkentési törekvések és a megújuló energiaforrások elterjedésének, továbbá a szénégetésen alapuló villamosenergia termelés visszaszorulásának okán a szektor hozzájárulása visszaszoruló tendenciát mutat. Ezen feltevést igazolni látszik a forrásanyagban fellelhető „Figure ES-7: Electric Power Generation and Emissions” ábra, mely a szektor kontribúciós hányadát helyezi szembe a különféle energiaforrások által megtermelt energiával milliárd kilowattórában denominálva.



2. ábra: Az Amerikai CO2 emisszió input oltalának idősoros vizualizációja

Forrás: Saját szerkesztés EIA (2022) A Monthly Energy Review alapján

Az üvegházhatású gázok és a légkörbe kibocsátott vagy onnan eltávolított szennyező anyagok vizsgálata kiemelt szerepet játszik a nemzetközi tudományos és politikai napirenden. Az ilyen anyagok hatásainak kutatását globális szinten az IPCC (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) és az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezménye

(UNFCCC) koordinálja, amelyek az éghajlatváltozás kezelésére irányuló egyezmények alapját képezik.

Az UNFCCC célja, hogy stabilizálja az üvegházhatású gázok légköri koncentrációját olyan szinten, amely megelőzi az éghajlati rendszer veszélyes emberi beavatkozását. Ennek érdekében egy keretrendszert hozott létre, amely általános elveket, kötelezettségeket, intézményi szabályokat és egy kormányközi folyamatot foglal magában, hogy idővel konkrét intézkedésekben állapodjanak meg. Ezt a keretrendszert olyan nemzetközi megállapodások támogatják, mint az 1997-es Kiotói Jegyzőkönyv (2020-ig érvényes) és annak utódja, a 2015-ös Párizsi Megállapodás (2016-tól hatályos).

A Párizsi Megállapodás egyik fő célkitűzése, hogy az iparosodás előtti szinthez képest a globális átlaghőmérséklet-emelkedést jelentősen 2 °C alatt tartsa, miközben arra törekszik, hogy ezt az emelkedést 1,5 °C-ra korlátozza.

Az Energy Futures Initiative Foundation (EFI) által közzétett *The Future of Natural Gas in a Low-Carbon World* című kiadványt használtam a földgáz szerepének megértéséhez. Az EFI egy non-profit szervezet, amelynek célja, hogy tájékoztassa a közvéleményt és a döntéshozókat az alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiára való átállást elősegítő technológiákról és szakpolitikai megoldásokról. A szervezet a dekarbonizációs célok elérésére összpontosít, ugyanakkor arra is törekszik, hogy ezeket az ambiciózus célokat összehangolja a valósággal, különös tekintettel a tranzíciós időszakban biztosítandó megbízható és megfizethető energiaellátásra. Egyszerűbben fogalmazva, nemcsak a végső célra koncentrálnak, hanem arra is, hogy az oda vezető út gyakorlati megvalósítása reális legyen.

A tanulmány főbb megállapításai szerint a földgáz gyakran átmeneti tüzelőanyagként szolgálhat, mivel a szénhez és az olajhoz képest alacsonyabb szén-dioxid-kibocsátással rendelkezik. A jelentés kiemeli, hogy a földgáz helyettesítheti a szenet, csökkentve ezzel mind a CO₂-kibocsátást, mind pedig a légszennyezést – ezt például az Egyesült Államokban és Európában már bizonyították. Hosszú távú szerepe azonban vitatott, elsősorban a metánkibocsátás és a szénsemlegességre való törekvések miatt. Bár a fenntarthatósági célkitűzések meghatározásának alapja általában a CO₂-kibocsátás csökkentése, fontos tudni, hogy maga a CO₂ is kereskedhető árucikként (commodity) funkcionál. Az Intercontinental Exchange (ICE) vezető szerepet tölt be a CO₂-kereskedelemben, és működteti a világ leglikvidebb és legaktívabb szén-dioxid-határidős piacait. Könyveléstechnikai, számomra

kihelyezetten meglepő nem intuitív érdekesség mellyel munkám során találkoztam, hogy az angolszász GAAP rendszerben Lower of Cost or Market (LOCOM) szerint könyvelendő és riportálandó az 'üvegházhatású gázkészleteken' keletkező hozam ameddig azok nem kerülnek realizálásra - kivéve ha speciális „Hedge Accounting” könyvön szerepelnek, és már úgymond el vannak adva csak a tranzakció nem 'settelt'.

Az elemzésben a (frappáns fordítás hiányában költői szabadsággal élve) energia méltányosság (Energy Equity) magában foglalja az energiához való hozzáférést, az energia megfizethetőségét és a tiszta hozzáférést az energiához. A fejlődő világban élők energia megfizethetőségi problémáival köszködnek, beleértve a földgázt is. Az energia megfizethetősége és stabil elérhetősége kritikus alappillére gazdasági növekedésnek. Előre lépések történtek az energiaszegénység felszámolása terén, de a COVID-19 járványkori hirtelen gazdasági sokk lefojtotta a momentumot. A magasabb energiaárakkal összefüggésben azon nemzetek, amelyek számára elérhetetlenül drága lett a globális piacokon a likvid földgáz import arra kényszerülnek, hogy szennyezőbb fossziliák, rendre a szén tüzelésével fedezzék energetikai igényeiket. Továbbá szorosan ide függően Ukrajna orosz inváziója energiabiztonsági (Energy Security) problémát vetett fel mely okán átrendeződés történt a földgázpiacon, mind a kereskedelmi forgalom, mind az áremelkedés tekintetében. Gyakorlatilag lehetetlen elmenni azon téma mellett napjainkban amennyiben a földgázról érdekezünk, hogy milyen hatással van a piacra és az energiabiztonságra az invázió, ennek kvantitatív elemzésével a negyedik és az ötödik fejezetben foglalkozom. Ezen három pillért mely alapján érdemes az energiapiaci változásokról és annak managementjéről gondolkozni energia trilemmának nevezik, mely három komponense még egyszer kihangsúlyozva: a fenntarthatóság, az energiabiztonság, és az energiaméltányosság.

1.2. A földgáztól való átállás: Alternatívák és korlátaik

A földgáz fűtési és villamosenergia-termelési célú felhasználásának csökkentése kulcsfontosságú lépés a globális dekarbonizációs célok elérése érdekében. Számos megújuló energiaforrás és innovatív technológia kínál életképes alternatívát, azonban mindegyikük sajátos korlátozásokkal rendelkezik, amelyeket meg kell oldani a fenntartható átállás érdekében. Az alábbiakban ezek az alternatívák és kihívásaik kerülnek bemutatásra.

Szélenergia

A szélenergia az egyik legszélesebb körben alkalmazott megújuló energiaforrás, amely jelentős szerepet játszik a villamosenergia-termelésben világszerte. Ez egy tiszta energiaforrás, amely közvetlen üvegházhatású gázkibocsátást nem eredményez. Ugyanakkor a szélenergia több kihívással is szembesül, például az időjárási körülményektől való függőségből fakadó időszakossággal. Ezenkívül a szélturbinák telepítésének magas kezdeti költségei, valamint környezeti aggályok, például zajszennyezés és madarakra, denevérekre gyakorolt hatások akadályozzák szélesebb körű elterjedését (Regen Power, 2025; Britannica ProCon.org, 2025).

Napenergia

A napenergia szintén kulcsfontosságú alternatíva mind a villamosenergia-termelés, mind a fűtési alkalmazások terén. A napelemek hatékonyan alakítják át a napfényt energiává, jelenlegi kereskedelmi modellek esetében 16% és 22% közötti hatékonysági arányt érve el. Ugyanakkor a napenergia erősen függ az időjárási viszonyoktól és a nappali fény rendelkezésre állásától, ami korlátozza megbízhatóságát fejlett energiatároló rendszerek nélkül. Továbbá a napelemes infrastruktúra kezdeti telepítési költségei egyes régiókban akadályozó tényezőt jelenthetnek (HomeBiogas, 2025; GreenMatch, 2021).

Vízenergia

A vízenergia megbízható megújuló energiaforrást biztosít, amely minimális üvegházhatású gázkibocsátással jár a fosszilis tüzelőanyagokhoz képest. Különösen értékes kiegészítője lehet az időszakos megújulóknak, például a szél- és napenergiának. Ugyanakkor a vízenergia-projektek jelentős tökebefektetést igényelnek, és jelentős ökológiai hatásokkal járhatnak az édesvízi ökoszisztémákra, például élőhelyek megzavarására és vízfolyások átalakítására (Britannica ProCon.org, 2025; Sweco Group, 2025).

Geotermikus energia

A geotermikus energia a Föld belső hőjét hasznosítja stabil villamosenergia-termeléshez és fűtéshez. Ellentétben a szél- vagy napenergiával, a geotermikus rendszerek nem időjárásfüggők, és egész évben folyamatosan működhetnek. Azonban földrajzilag korlátozottak olyan régiókra, ahol hozzáférhető geotermikus tározók találhatók, például tektonikus lemezszegélyek közelében. Ez a földrajzi korlátozás globális

alkalmazhatóságukat jelentősen csökkenti (MET Group, 2025; Britannica ProCon.org, 2025).

Biomassza

A biomassza energia szerves anyagok – például faapríték vagy mezőgazdasági hulladék – elégetésével állít elő hőt vagy villamos energiát. Bár fenntartható forrásból származva megújulónak tekinthető, az égés során továbbra is kibocsát üvegházhatású gázokat – igaz, alacsonyabb szinten, mint a fosszilis tüzelőanyagok. A nagyszabású biomassza-termelés emellett jelentős földhasználatot igényelhet, ami versenyezhet a mezőgazdasági szükségletekkel vagy erdőirtáshoz vezethet (U.S. Energy Information Administration [EIA], 2025; Reclaim Finance, 2023).

Zöld hidrogén

A zöld hidrogént elektrolízissel állítják elő megújuló villamos energia felhasználásával. Ez ígéretes tiszta üzemanyag lehet fűtési és villamosenergia-termelési célokra. Azonban ez a technológia még gyerekcipőben jár, jelenleg költséges nagy léptékben előállítani. Ezenfelül a zöld hidrogén jelenleg csak kis hányadát teszi ki a globális hidrogéntermelésnek az elektrolízis magas energiaigénye miatt (HomeBiogas, 2025; Reclaim Finance, 2023).

Hőszivattyús elektrifikáció

A hőszivattyúk hőt vonnak ki a környezeti levegőből vagy talajból épületek hatékony fűtése vagy hűtése céljából. Különösen jól működnek jól szigetelt épületekben, de rendkívül hideg éghajlaton kevésbé hatékonyak lehetnek kiegészítő fűtés nélkül. A hőszivattyúk telepítésének magas kezdeti költségei is akadályozhatják széles körű elterjedésüket (Equans Group, 2025; Energuide, 2025).

1.3. A megújuló energiaforrások korlátai

Annak ellenére, hogy ígéretes alternatívái lehetnek a földgáznak fűtési és villamosenergia-termelési célokra, a megújuló alternatívákkal számos kulcsfontosságú kihívás jár kéz a kézben. Az olyan megújuló források esetében mint a szél- és napenergia az időjárási viszonyoktól való függőség miatt nem biztosított az állandó energiatermelés fejlett tárolási megoldások nélkül (Regen Power, 2025; GreenMatch, 2021). A megújulóakra való átállás gyakran jelentős kezdeti beruházásokat igényel infrastruktúrafejlesztésre – például

szélerőművek vagy geotermikus erőművek építésére –, ami akadály lehet kevésbé tehetősi régiók számára (Britannica ProCon.org, 2025). Egyes források helyspecifikusak; például geotermikus energia csak geotermikus tározók közelében érhető el (MET Group, 2025). Hatékony tárolórendszerekre van szükség az időszakos megújulók által okozott kínálati-keresleti eltérések kezelésére (Regen Power, 2025). A meglévő szabályozási keretek gyakran kedveznek fosszilis tüzelőanyag-alapú rendszereknek (Sweco Group, 2025).

Összegzésként elmondható, hogy bár a megújuló energiaforrások jelentős potenciállal rendelkeznek a földgázfüggőség csökkentése terén és hozzájárulhatnak dekarbonizációs célok eléréséhez is, széles körű alkalmazásukhoz ezeknek az akadályoknak az áthidalása szükséges.

2. MAGYAR ENERGIAI VONATKOZÁSOK

2.1. Magyar Energia Mix

Hogy kvantitatív képet kapjunk hazánk villamosenergia igényeinek termelésoldali karakteréről érdemes a Magyar Energetikai és Közmű Szabályozási Hivatal (MEKH) által rendszeresen publikált adatokat tanulmányozni, ahol publikálják a bruttó villamosenergia-termelést. Kettő módszertan van amennyiben az energiatermelést szeretnénk megismerni, a bruttó és a nettó energiatermelés. A bruttó és a nettó energiatermelés közötti különbség az energiatermelés és -szállítás során fellépő energiavesztésben rejlik!

Bruttó energiatermelés: Egy erőmű vagy egy energiatermelő létesítmény által megtermelt teljes energiamennyiség. Ez magában foglalja az összes megtermelt energiát, függetlenül a rendszeren belüli veszteségektől.

Nettó energiatermelés: Ez az az energia, amely a termelés során keletkező veszteségek elszámolása után megmarad, mint például a létesítmény által felhasznált energia (berendezések üzemeltetéséhez, hűtéséhez stb.) és egyéb hatástalanságok. A nettó energiatermelés az az energiamennyiség, amely a fogyasztók elosztására és felhasználására rendelkezésre áll.

Vagyis a bruttó energia az összes megtermelt, míg a nettó energia az, ami a belső fogyasztás és a veszteségek levonása után megmarad.

Célszerűnek találom, hogy a termelés során felmerülő veszteségeket ne vegyük figyelembe, és a hatásfok kérdéskörét se firtassuk, hanem induljunk ki abból az egyszerűsítő feltevésből hogy a piac tökéletesen működik, és a kereslet, melyben megjelennek az energiatermelő egységek, és a kínálat tökéletes egyensúlyban van, tehát a nemzeti energiaigények egyenlőnek a termeléssel. Ezen feltevést alapul véve tanulmányozom, hogy a villamosenergia igények miképpen kerülnek kielégítésre az elmúlt években.

1. táblázat: Bruttó villamosenergia-termelés magyarországon, GW/h - ban

Energiahordozó	2019	2020	2021	2022	2023E*
Nukleáris	16288	16055	15990	15812	15918
Szén és széntermékek	4184	3826	3105	3064	2508
Földgáz	8700	9091	9653	8846	7264
Kőolajtermékek	71	45	59,3	59,4	54
Biomassza	1769	1664	1775	1693	1126
Biogáz	321	324	295	315	293
Kommunális hulladék megújuló	137	167	161	130	118
Víz	219	244	212	178	222
Szél	729	655	664	610	645
Nap	1497	2459	3796	4732	6960
ebből 50 kW alatti**	576	851	1398	1613	2277
Geotermikus	18	16	12	4	16
Egyéb	358	384	398	331,4	392
Összesen	34291	34930	36120	35775	35516
Nukleáris %	47%	46%	44%	44%	45%
Földgáz %	25%	26%	27%	25%	20%
Nap %	4%	7%	11%	13%	20%

Forrás: <https://www.mekh.hu/eves-adatok> (Saját szerkesztés)

Egyértelműen kirajzolódik, hogy a domináns energetikai forrás hazánkban a nukleáris energia, mely vitathatatlanul a hazai energiaellátás gerincét adja. A földgázalapú energiatermelés a második legjelentősebb hozzájáruló, majd harmadik meghatározó tényezőnek a napenergiát emelkedik ki ütemes térnyeréssel. Három trend van kibontakozóban, melyet érdemes megfontolni, hogy megértsük, honnan és hova tartunk energiatermelés terén, mégpedig a magyar energiafogyasztás stagnálása – és ’22-es visszaesése, illetve a földgáz alapú termelés visszaesése, továbbá a napenergia alapú termelés gyorsütemű térnyerése.

A Magyar Energiafogyasztás gyakorlatilag stagnál 2019, és 2023 között.

Intuitív gondolat, hogy a technológia fejlődésével és terjedésével (urbanizáció), az iparosodással, illetve az életszínvonal javulásával együtt járó fogyasztás növekedésével az éves energiafogyasztásnak pozitív növekménye várható. Ezt a feltételezést megerősíti az U.S. Energy Information Administration (EIA) publikációja. Az EIA szerint a globális energiafogyasztás várhatóan növekedni fog a népességnövekedés, a gazdasági fejlődés és az iparosodás hatására, különösen a feltörekvő piacokon. Az előrejelzések alapján a globális energiaigény 2040-re várhatóan 25–30%-kal fog emelkedni, annak ellenére, hogy az energiahatékonyság javítására és a megújuló energia részarányának növelésére törekednek. Fontos kiemelni, hogy ez a növekedés elsősorban az OECD-n kívüli országokból származik, különösen Ázsiában és Afrikában, ahol az iparosodás és az urbanizáció gyors ütemben bővül (U.S. Energy Information Administration [EIA], 2024). Tehát az energiafogyasztás bővülésének kettő magyarázó elemét emelném ki, az urbanizáció és iparosodás ütemét, és a népesség növekedési ütemét. Hazánkban jelenleg a népesség csökkenésével számolhatunk, és az urbanizáció és iparosodás okán keletkező energiaigény bővülése véleményem szerint elenyésző tényező esetünkben, mely segít megérteni hazánk hozzávetőlegesen stagnáló energiafogyasztását.

A földgáz hányada csökken az energia mixben, a napenergia szerepe pedig növekszik!

A kettő szorosan összefügg, nem érdemes izolálva vizsgálni a jelenséget, és ennek a tényállásnak kettő gyökeres mozgatóeleme van. Az első, és egyben (angolosan) a katalizátora az Orosz invázió 2022 februári megindulása és ennek logikus hatása a bruttó villamosenergia-termelés komponensek dinamikájára a földgáz drasztikus áremelkedésének kiváltásával, a második pedig az üvegházhatású gázok visszaszorítására irányuló törekvések mint például a METÁR program keretében megvalósuló beruházások. A napenergia termelése Magyarországon kiemelkedően gyors ütemben növekszik, míg 2019-ben a bruttó villamosenergia-termelés mindössze 4%-át tette ki, ez az arány 2023-ra elérte a 20%-ot. Ugyanakkor a gyors növekedés kihívásokat is hozott magával, például az elektromos hálózat kapacitásának fejlesztési igényét (IEA, 2024).

2.2. Az atomenergia és a földgáz dinamikája Magyarország energiamixében: A hálózat Gerince és Izomzata

2.2.1. Az atomenergia output

Az atomenergia állandó villamosenergia-termelést biztosít, de korlátokkal rendelkezik rugalmasság és kapacitáskihasználtság tekintetében. Magyarország egyetlen atomerőműve, a Paksi Atomerőmű négy VVER-440 típusú reaktort üzemeltet, amelyek együttes bruttó kapacitása körülbelül 2 000 MW. Bár modernizációs erőfeszítések révén az egyes reaktorok kapacitását 440 MW-ról 500 MW-ra növelték, Paks működési rugalmassága továbbra is technikai és gazdasági tényezők által korlátozott (EBSCO Research Starters, 2025). Bár az erőmű névleges kapacitása 2 000 MW, tényleges éves termelése a kapacitásfaktortól függ, amely általában körülbelül 84% Paks esetében mely figyelembe veszi az üzemanyagcserét és karbantartási tevékenységeket, az annualizált becsült hatásfokkal könnyen teoretizálhatunk egy éves plafonértéket amire az erőmű képes:

$$\text{Éves termelés} = 2000 \text{ MW} \times 0,84 \times 8760 \text{ óra} / \text{év.} = 14\,740 \text{ GWh} / \text{év}$$

A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) adatai szerint az atomenergia évente körülbelül 44–47%-kal járul hozzá Magyarország bruttó villamosenergia-termeléséhez (MEKH, 2025), példának okán 2022-ben az atomenergia hozzájárulása körülbelül 15 812 GWh volt, ami közel áll, és kissé meg is haladja az előzőleg számított elméleti maximális termelési értékhez ami indikálja hogy az erőmű mint preferált energiaforrás folyamatosan a reális maximumon üzemel, és nincs helyettesítő terméke mely határhaszna meghaladná megtermelt villamosenergiára vetített költségvonzat tekintetében.

2.2.2. A kombinált ciklusú gázturbinák erénye Paks output delta imitációjával szemben

Ezen alfejezetet Gátfalvi Kristóf energetikai mérnök barátom vendéglátóipari egységben elhangzott gondolatai inspirálták mikor arról érvelt hogy nem látja még azt a reális jövőképet energetikailag, amikor „lejövünk a gázzal”, és kísérletet teszek a gondolatmenet szavatos fogalmazásban forrásokkal alátámasztott replikálására. Magyarország energiarendszere alapjaiban az atomenergiára és a földgázra támaszkodik, amelyek különböző, egymást kiegészítő szerepet kell hogy ellássanak a hálózati stabilitás biztosításában. Míg az atomenergia az alapterhelést biztosítja (rendkívül rugalmatlan outputtal a gázhoz mérten)

addig a földgáz páratlan rugalmasságot kínál az áramkereslet gyors változásaira való reagálásban.

A földgáztüzelésű erőművek kulcsfontosságú szerepet játszanak az áramellátás és -kereslet kiegyensúlyozásában, különösen olyan rendszerekben, ahol magas a szél- és napenergia aránya, amelyek termelése időjárásfüggő, tehát a pillanatnyi maximum output jelentős varianciával jellemezhető, és tervezhetősége alacsony. A kombinált ciklusú gázturbinák (CCGT) percekben belül képesek teljesítményüket növelni vagy csökkenteni, így ideálisak az áramkereslet vagy a megújuló energiaforrások termelésének hirtelen ingadozásainak kezelésére. (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2023).

Ez a rugalmasság különösen fontos extrém időjárási események vagy alacsony megújulótermelés időszakában. Például Európában egy "dunkelflaute" (alacsony szél- és napenergia-termelés) idején a gáztüzelésű áramtermelés éves összehasonlításban 80%-kal nőtt, hogy pótolja a kiesést (European Gas Hub, 2025). Ez jól mutatja, miért marad a földgáz előnyben részesített lehetőség a rövid távú hálózati kiegyensúlyozásban.

Az atom- és gázerőművek közötti kardinális különbség azok rugalmasságában rejlik értekezésünk szempontjából – azaz abban, hogy milyen gyorsan tudják változtatni teljesítményüket. Míg a modern atomerőművek bizonyos fokú terheléskövetési képességgel rendelkeznek, gyors teljesítményváltoztatási képességük korlátozott fizikai tényezők miatt, mint például a fűtőelemek termikus terhelése vagy más reaktorkomponensek sztreessztoleranciája. Még a fejlett modern reaktorok is csak percenként legfeljebb 1–5%-os teljesítményváltoztatásra képesek (One Earth, 2024). Ezzel szemben a kombinált ciklusú gázturbinák akár percenként 50%-os teljesítményváltoztatásra is képesek! Ez lehetővé teszi számukra, hogy szinte azonnal reagáljanak a kereslet vagy a megújuló energiaforrások termelésének ingadozásaira.

Míg az atomenergia Magyarország villamosenergia-hálózatának gerincét alkotja stabil alapterhelési ellátásával, korlátozott rugalmassága és kapacitása kiemeli más energiaforrások szükségességét. A gáztüzelésű erőművek kiemelkednek gyors reakcióképességükkel, ami nélkülözhetetlenné teszi őket a változó megújuló energiaforrások integrációjához. Ahogy Magyarország tovább halad energiamixének átalakításában – például a napenergia részarányának növelésével –, az atom- és gázerőművek kiegészítő szerepe továbbra is kulcsfontosságú marad!

Számomra érdekes gyakorlati probléma a fogyasztási igények hisztorikális adatok alapján történő modellezésén, és az áramtermelés fizikai korlátjain alapuló optimalizálási feladat. Az energiaforrások optimalizálását megadott korlátok mellett három fő módszertannal végzik: lineáris programozással (LP), vegyes egészcértékű lineáris programozással (MILP), valamint metaheurisztikus algoritmusokkal, szerintem Magyarország adottságait tekintve élhetünk azzal a banális egyszerűsítéssel (ha csupán az egészt nézzük homogén elemként) hogy az optimális felhasználás az az hogy a Paksi Erőmű kapacitáshatárközei működését adottságként vesszük, és a fennálló pillanatnyi energiaigényt amennyiben lehetséges (kapacitáskorlátig) megújulókból állítjuk elő, és bármily hiány pótlására a kombinált ciklusú gázturbinákra hagyatkozunk.

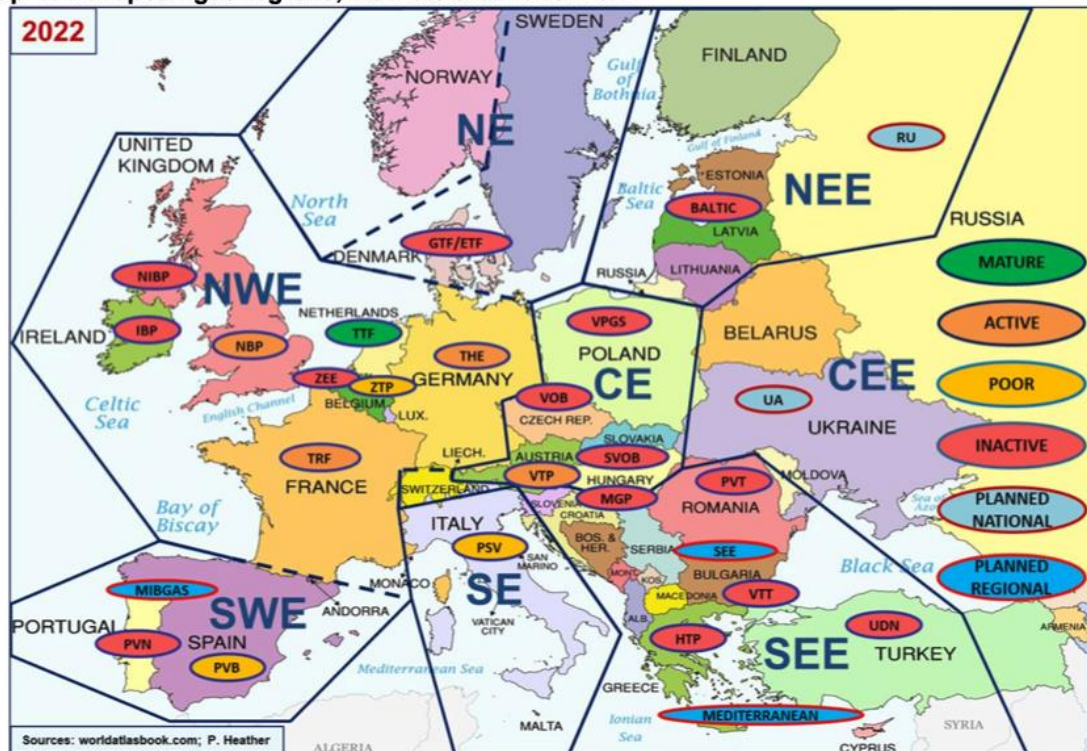
3. AZ EURÓPAI FÖLDGÁZPIAC SZERKEZETE: A MAIN HUBOK ÉS AZ MGP

A fejezet nyitó gondolatát Dr. Szolnoki Pálma Doktori értekezéséből idézném:

„A földgázkereskedelem európai integrációja több évtizedes jogi és infrastrukturális átalakulás eredménye, amelynek gyökerei a nemzetállami monopóliumok korába nyúlnak vissza. A rendszer evolúcióját meghatározó tényezőként a vertikális integráció lebontása, a transznacionális kapacitáskiosztás optimalizálása és a digitális piaci platformok megjelenése jelentkezik.” (Szolnoki Pálma Tünde, 2018).

Az európai földgázpiacot a kereskedelmi központok hálózata jellemzi, amelyek lehetővé teszik a nagykereskedelmi gáztranzakciókat, az árképzést és a kockázatkezelést. A központok közül kiemelkedik a holland Title Transfer Facility (TTF), amely az Oxford Institute for Energy Studies (OIES) "5 kulcselem" módszertana szerint érett központnak minősül (Heather, Patrick, 2023). A TTF dominanciája elsősorban kiemelkedő likviditásán alapul: 2022-ben az európai kereskedett gázvolumenének 76%-át adta, churn rate-je pedig meghaladta a 15-öt (Kristensen, Alexander, 2025). Ez a likviditás nemcsak hatékony árképzést tesz lehetővé, hanem lehetővé teszi a kockázatok kezelését is a spot, határidős és opciós szerződések széles skáláján keresztül, amelyek akár 13 évre előre is köthetők. Emellett a TTF árai globális benchmarkként szolgálnak, befolyásolva az európai LNG-importokat és a hosszú távú szerződések referenciaértékeit (Heather, Patrick, 2023). Az OIES kiemeli, hogy a TTF likviditása kulcsszerepet játszott a 2021–2022-es energiaválság kezelésében, amikor az orosz földgázszállítások csökkenése komoly kínálati sokkot okozott. A központ regionális és globális szerepét tovább erősíti infrastrukturális kapcsolatai, például a BBL gázvezeték az Egyesült Királyság felé (National Gas Transmission, 2020).

Map 1: European gas regions, markets and hubs: 2022



3. ábra: Az európai gázzéciók

Forrás: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2023/06/European-Traded-Gas-Hubs-their-continued-relevance-NG183.pdf>

A brit National Balancing Point (NBP) helyzete ezzel szemben jelentős átalakuláson ment keresztül. Korábban Európa vezető gázközpontja, mára az OIES besorolása szerint "aktív" második szintű központtá vált (Heather, Patrick, 2023). Ennek háttérében az Északi-tenger termelésének hanyatlása és a Brexit utáni piaci fragmentáció áll, amelyek következtében az NBP churn rate-je 2020 és 2022 között 10,2-ről 8,5-re csökkent (Kristensen, Alexander, 2025). Bár az NBP továbbra is lehetővé teszi szezonális és görbe kereskedést, határidős piacát a TTF háttérbe szorította. Az Egyesült Királyság gázellátásának stabilitását ma már jelentősen befolyásolják a TTF-fel való kapcsolatok, különösen a BBL vezetéken keresztüli bidirekcionális áramlások, ami csökkenti az NBP árképzési autonómiáját (National Gas Transmission, 2020). Ennek ellenére az NBP továbbra is kulcsszerepet játszik az Egyesült Királyság és Írország közötti gázáramlásokban, bár globális benchmark szerepe már nem állja meg a helyét.

A francia Trading Region France (TRF, korábban PEG Nord) esetében az OIES "aktív" központként való besorolása a regionális integrációra és az LNG-infrastruktúra fejlesztésére utal (Heather, Patrick, 2023). A TRF likviditása mérsékelt (churn rate: 4,3), de dinamikusan fejlődik: 2022-ben a kereskedett volumenek 102%-os növekedést mutattak (EFET, 2023), ami elsősorban Franciaország LNG-termináljainak – például Montoir – köszönhető. A TRF fő funkciója a hálózat kiegyensúlyozása, amelyet spot- és hónap-előtti szerződéseivel tesz lehetővé. Ugyanakkor hosszú távú határidős ügyletek hiánya korlátozza a pénzügyi szereplők részvételét. A központ regionális kapcsolatai – például a TTF-vel és a belga központokkal – lehetővé teszik az arbitrázst, de egyben növelik az árfüggőséget is. Így a TRF regionális benchmarkként szolgál Franciaország és Dél-Európa piaci számára.

A magyar **MGP** ezzel szemben az OIES módszertana szerint "gyenge" vagy "inaktív" kategóriába tartozik (Heather, Patrick, 2023). Alacsony likviditása (churn rate: 1,2) a minimális kereskedelmi aktivitásra utal, amelyet a hosszú távú orosz szerződések dominanciája és a piaci struktúra hiányosságai magyaráznak. Kevesebb mint tíz aktív kereskedő van jelen; emellett hiányoznak a határidős vagy opciós piacok is. Az állami tulajdonú MVM dominanciája megakadályozza a transzparens árképzést. Infrastrukturális korlátok – például korlátozott kapacitású interkonnektorok Ausztria és Horvátország felé – tovább mélyítik az elszigeteltséget (Grabar, Yakov, 2021; EFET, 2023). Gyakorlati szinten ez árkedelmekhez vezethet: az MGP árai gyakran késnek a TTF-hez képest. Ez növeli az alapkockázatokat magyar vásárlók számára; emellett magasabb fedezeti költségeket eredményezhet azok számára is, akiknek pozícióikat TTF-en vagy VTP-n kell fedezniük. A helyzetet súlyosbítja Magyarország földgázellátásának erős orosz függése: ennek mértéke eléri a teljes ellátás körülbelül 95%-át (Balkan Insight, 2024). Ez akadályozza mind Magyarország piaci liberalizációját, mind pedig integrációját az EU földgázpiacaiba.

Összességében az OIES módszertana egyértelműen rámutat az európai gázközpontok közötti strukturális különbségekre. Míg a TTF likviditása és interkonnektivitása révén Európa energiabiztonságának alapját képezi (Kristensen Alexander., 2025), addig az MGP fejletlensége geopolitikai kiszolgáltatottságot tükröz. Az MGP érettségének eléréséhez radikális reformokra lenne szükség: ezek magukban foglalnák mind az infrastruktúra bővítést – például új interkonnektorok kiépítését –, mind pedig a piaci liberalizációt és az ellátási források diverzifikációját.

4. A KULCSSZEREPLŐK AZONOSÍTÁSA IMPORT ÉS EXPORT VOLUMENEK ALAPJÁN

Amikor egy nemzet, vagy termék, esetleg szektor import – export karakterisztikáját szeretném megismerni, szeretek az Observatory of Economic Complexity (OEC) által Online publikált és könnyedén szerkeszthető adatoknál kezdeni. Célszerűnek találom hogy az Orosz invázió hatására történt energetikai átrendeződés mértékeit mélyebben megértsük, először vizsgáljuk meg miképp jellemezhető Európa és a világ, továbbá az orosz gazdaság összekapcsoltsága a földgáz terén.

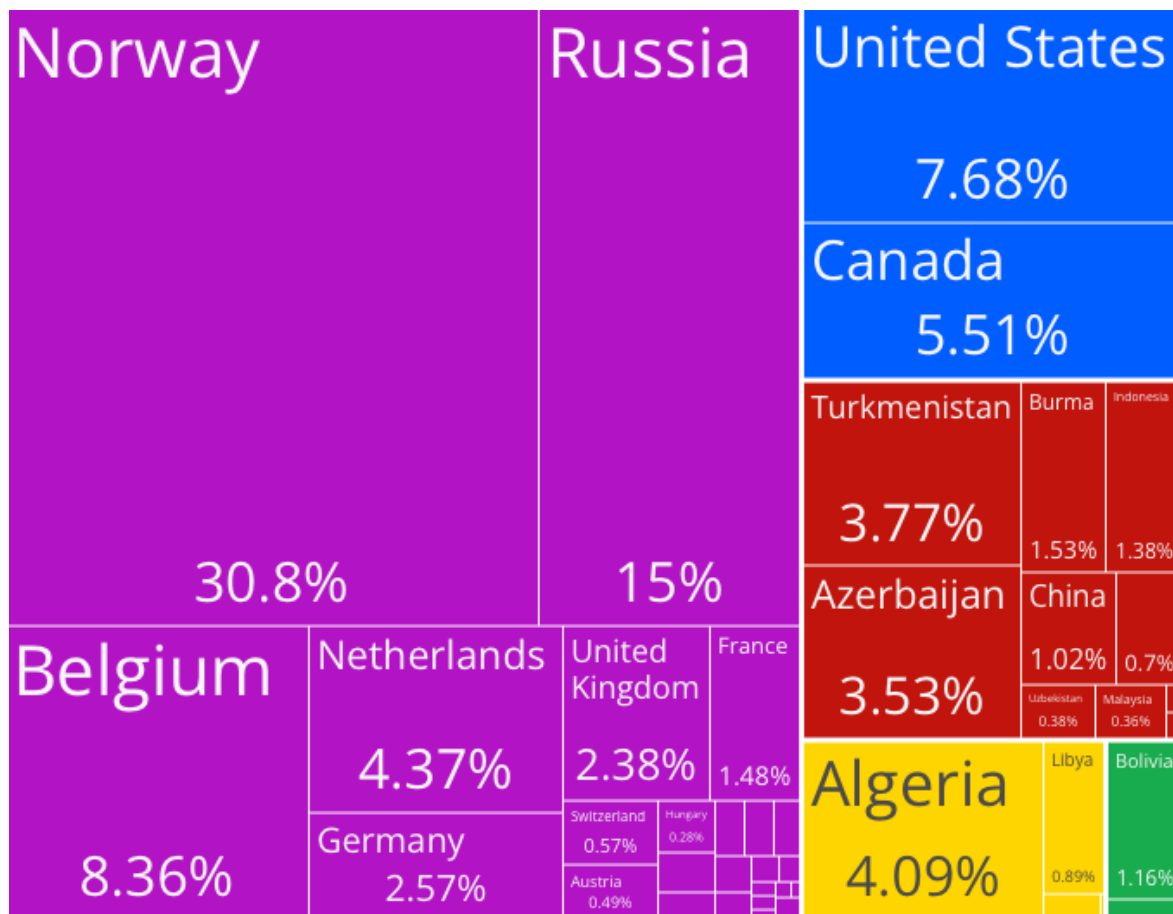
Az OEC oldalán az adatok HS kódok, és különb mélységek szintjén vannak aggregálva. A HS kód, vagyis a harmonizált kód egy nemzetközileg szabványosított név- és számrendszer sztemderd mely a kereskedelmi forgalomba hozott termékeket osztályoz és rendszerez, és a rendszerezési sztemderdet a World Customs Organizations (WCO) fejlesztette ki és tartja karban. Ez a rendszer lehetővé teszi, hogy minden ország ugyanazon az oldalon álljon a termékek besorolásakor az export és import előtt. A harmonizált kódokra többféleképpen hivatkozhatunk, attól függően, hogy hová megy a szállítmány, és ki a felelős érte – például HC, HTS, árukód vagy tarifa néven is ismertek, országtól függően. A helyes árukód megtalálása kulcsfontosságú az importőrök és exportőrök számára szerte a világon. Nemcsak segít azonosítani, hogy milyen termékeket szállítanak, hanem létfontosságú szerepet játszik az adórendszerekben és az ellenőrzésekben is.

A földgáz kódja 2711 HS4 keretrendszerben ami aggregáltan magába foglalja a cseppfolyós földgázt (továbbiakban LNG mint „liquified natural gas”) melynek deignált kódja mélyebb bontású HS6 sztemderdben 271121 az LNG esetében; és a gáz halmazállapotban lévő földgázt aminek a kódja 271111.

4.1. 2021-es vezetékes földgáz (HS: 271111) export és import adatok megismerése

Amennyiben az európai földgázpiacot ért sokkot mélyebben szeretnénk megérteni véleményem szerint fontos megismerni a bruttó kereskedelmi adatokat és azok csapdáit, így célszerűnek találom a vezetékes földgáz (HS: 271111) izolált vizsgálatát az LNG (HS: 271121) leválasztásával.

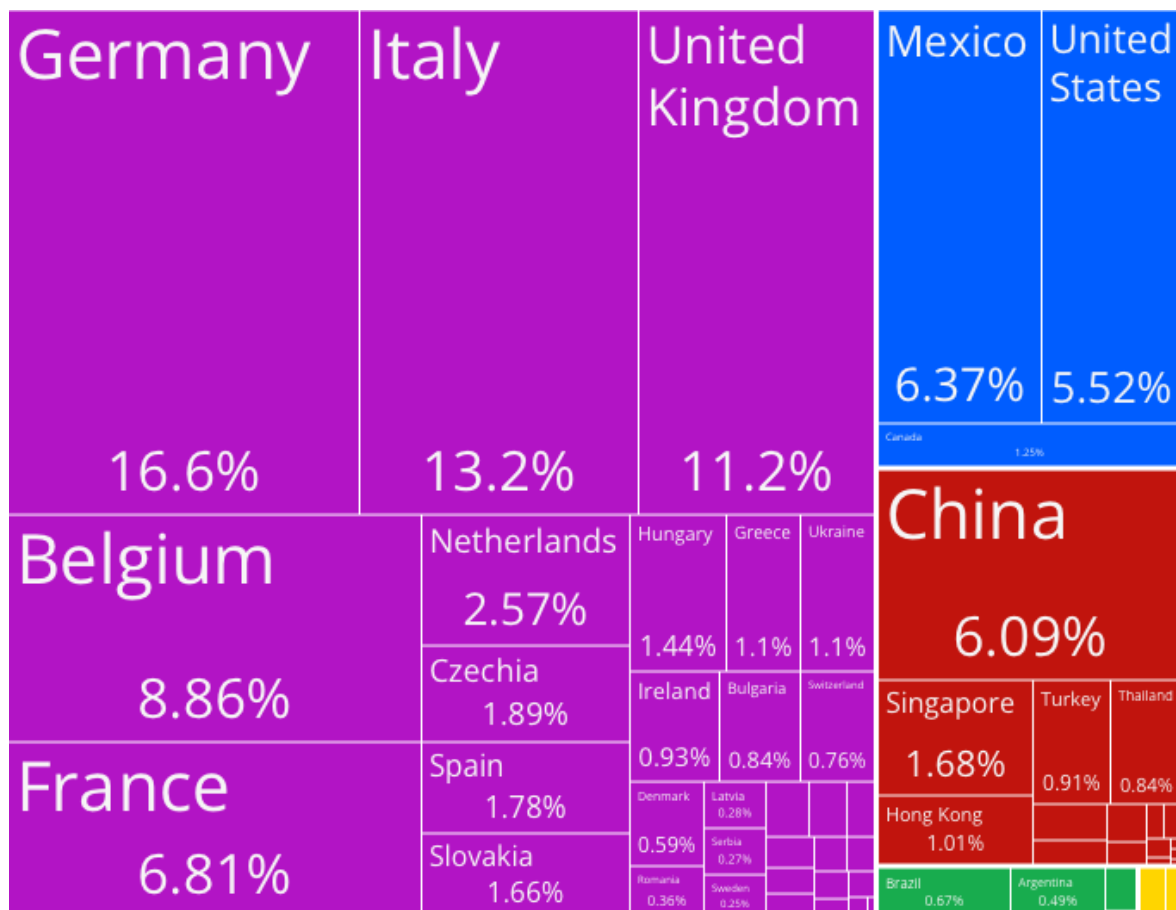
Hogy megismerjük a kulcsszereplőket az export és import oldalon egy egyszerű részesedési hányadnál mélyebb képet kaphatunk a meghatározó szereplőkről a piacon. Globális tekintetben érdemes mind az energiaexportot, mind az energiaimportot közös nevezőben harmonizálni, esetünkben a dollárban számolt pénzügyi ellenértéke a tranzakcióknak megfelel a célunknak. Az alábbi vizualizáción az egyes nemzetállamok a dollárban számolt exportjuk alapján vannak méretezve, és kontinens szerint színekódolva.



**4. ábra: HS 271111 exportvolumen arányok dollárban denominálva
országoként csoportosítva kontinens szerint színkódolva 2021-ben**

Forrás: <https://oec.world/en/profile/hs/gaseous-natural-gas?selector1013id=2021&selector1699id=pctOption>

A 4. ábra alapján jól kivehető, hogy Európai országok rendre a domináns földgáz exportőrök a világon dollárban denominálva, ám nyersen magában ez exportmérleg értelmezése hamis következtetésekhez vezethet, és érdemes mellé tenni az import oldali képet.



**5. ábra: HS 271111 importvolumen arányok dollárban denominálva
országoként csoportosítva kontinens szerint színkódolva 2021-ben**

Forrás: <https://oec.world/en/profile/hs/gaseous-natural-gas?selector1013id=2021&selector1699id=pctOption>

A globális földgáz import oldalát is rendre európai államok dominálják dollárban denominálva a 2021-es tárgyévét tekintve. Kontextus nélkül pedig csalfa, félrevezető képet kaphatunk a földgázkereskedelemtől, és arra juthatunk hogy a meghatározó szereplők a piacon rendre európai államok mind az export, mind az import oldalon!

A bruttó kereskedelem statisztikai csapdája

A 2021-es földgáz-kereskedelmi adatok egy paradoxont fednek fel: míg számos európai ország a globális export-rangsoron belül az élvonalban szerepel (pl. Hollandia 8,06 milliárd dollár, Németország 4,73 milliárd dollár), ezek az értékek általánosított félreértésekhez vezetnek a valódi piaci befolyás értelmezésében. Ahogy Javorsek, Marko et. al. (2016) is kiemeli, a kétoldalú kereskedelmi statisztikák aszimmetriája rendre előforduló hibaként jelentős aggályt jelent a statisztikák minősége szempontjából a témakörben, különösen a következetesség szempontjából. Ezenkívül tévHITEKHEZ vezethetnek a politikai döntéshozók, a vállalkozások és a nagyközönség körében a kereskedelmi mérlegről. A bruttó exportvolumen elemzése figyelmen kívül hagyja a kontinens egyedi infrastrukturális hálózatát, amelyben esetünkben a gáz „áramlása” gyakran több országon is átível, mielőtt végleges fogyasztóhoz érnének.

Hogyan lehet elébe menni a statisztikai hibáknak?

Nettó kereskedelmi adatok használata: A legalapvetőbb józan ész által diktált helyes módszer az újra export és áthaladás figyelembevételével a bruttó mennyiségek helyett a nettó kereskedelmi adatokra (export mínusz import) érdemes összpontosítani.

Az osztályozások harmonizálása: Az egységes osztályozási rendszereket az országok között olyan nemzetközi szabványok használatával, mint a Harmonizált tarifatóblázat (HTS).

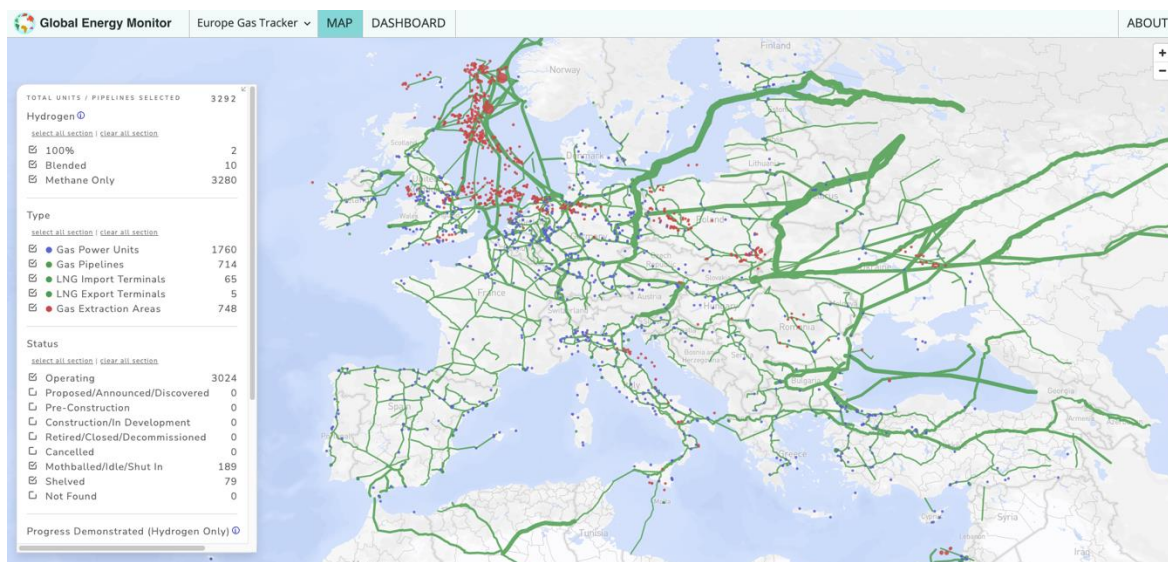
Értékelési különbségek beállítása: Az export értékek rendre „Free on Board” (FOB) értékeléssel kerülnek kalkulációra, miszerint az áru ellenértékébe beépült minden költség (és profit), ellenben nem veszi figyelembe a tranzitköltségeket, például LNG esetén a hajóztatási költséget, a biztosítást, és egyéb hajóba betáplálás után felmerülő költséget, például az újra cseppfolyósítást és a forrás okán túlnyomást elkerülés okán felmerülő párologtatást. Ezzel szemben az import értékek rendre „CIF-értékek” az árba beépül a mondjuk úgy minden egyéb költség is, kiemelve a költséget (Cost), a biztosítást (Insurance) és a tranzitköltséget (Freight).

Kereskedelmi elemzés tükrözése: Hiányos, vagy nem publikus adatok esetén a kereskedelmi partnerektől származó adatokat, vagy akár az egyedre vonatkozó egyéb adatszolgáltatásokat fel lehet használni a titoktartási sémák vagy az elnyomás által okozott eltérések feltárására vagy felfedésére.

Kiugró értékek és anomáliák megjelölése: Érdemes alkalmazni statisztikai módszereket, például dobozdiagramokat vagy klaszterező algoritmusokat, hogy a szokatlan minták észlelésre kerüljenek a kereskedelmi adatokban, amelyek hibákra vagy téves jelentésekre utalhatnak.

Előzményadatok felvétele: Az adatkészletek kibővítése előzményinformációkkal, hogy javuljon az időbeli eltérések észlelésének robusztussága.

Mielőtt megvizsgálom a nettósított volumeneket, egy vizuális képet kerestem hogy segítsen kontextusba helyezni az adatokat. Az alábbi képet a Global Energy Monitor szervezet nyilvánosan elérhető európai gázhálózati térképéről készítettem. A vezetékek és termelési egységek esetén eltávolítottam az illusztrációhoz a tervezett, a törölt, és a leszerelt egységeket. Azt láthatjuk, hogy a darabszámra jelentős koncentráció az Északi – Tenger térségében elsősorban Norvégia partjainál figyelhető meg, illetve a disszertáció folyamán már említett Groningen (Hollandia) térségben láthatunk kiugró koncentrációt. Ennek okán várható, hogy a kettő említett állam jelentős termeléssel rendelkezik, és jelentősen pozitív lesz az export mérlegjük, míg a jelentős saját termeléssel 'szemre' nem rendelkező államok várhatóan rendre nettó importőrök. Továbbá a gázvezetékek (zöld) vastagsága az áramlási kapacitással vannak súlyozva, és kiugró vastagságúak a keletről (Oroszországból) nyugatra, Közép – Európába irányába tartó vezetékek. Ennek okán logikus várakozás, hogy a környező országok rendre jelentős importtöbblettel fognak rendelkezni, és az ügylet másik felén Oroszország fog fellépni, mint domináns exportőr.



6. ábra: Európa gázhálózati térképe

Forrás: <https://globalenergymonitor.org/projects/europe-gas-tracker/tracker-map/>

Következésképpen akárcsak az import és export volumenek esetén, a nettó értékek kiszámításához a 2021-es tárgyévi adatokat vettem alapul az OEC oldaláról, és az exportált adatokat az előforduló országok alapján csoportosítottam, majd a pénznemben (ezer dollár) kifejezett volumen bruttó és nettó értékeket nettósítottam. Figyelembe vettem az értékelési különbségeket, ellenben nincs egységesen elfogadott 'jó' módszertan erre. Alapesetben ezen ártértékelések célszerűen az import diszkontálásával, vagy az export érték $(1+r)$ faktorról való szorzásával történnek, majd a következő kérdéskör rendre a ráták optimalizálása régió szinten.

Személyes véleményem szerint ezen kutatás céljából nem érdemes mélyebb információtartalmat tömöríteni a diszkontrátába, mint egy generikus ráta meghatározása annak mellőzésével, hogy a diszkontrátát országonként egyénre szabjuk, habár egy ipari modell esetén érdemes lenne tárgyországonként optimalizálni. a tanulmányok azt mutatják, hogy a CIF-értékek jellemzően 5–10%-kal magasabbak, mint a FOB-értékek a hozzáadott költségek miatt. A Ferdi-tanulmány(9287) megemlíti, hogy a globális CIF/FOB arány körülbelül 1,06, ami azt jelenti, hogy a CIF értékek átlagosan 6%-kal magasabbak, mint a FOB értékek. Arról nem rendelkezek információval, hogy az OEC alkalmaz e bármilyen FOB / CIF ártértékelést, így én azt a megközelítést alkalmaztam hogy a teljes exportvolumen összegezve minden elem exportértékével szembesítve az importértékek összegével, és az

Import „túlsúlyt” számítási alapul véve becsülöm meg a CIF prémiummal szemben alkalmazandó diszkontrátát, és az adatok az alábbi képet mutatják:

2021

Globális földgázexport nominális deviza alapú volumen: \$314.2 mrd

Globális földgázimport nominális deviza alapú volumen: \$313.8 mrd

Nettó 'globális' földgázmérleg: + \$0.4 mrd

2023

Globális földgázexport nominális deviza alapú volumen: \$371.6 mrd

Globális földgázimport nominális deviza alapú volumen: \$371.2 mrd

Nettó 'globális' földgázmérleg: + \$0.4 mrd

Import prémium helyett immateriális export túlsúlyt láthatunk az adatokban, melynek okán azzal a feltételezéssel élek hogy az OEC CIF/FOB deltát korrigálva publikálja az adatokat, melynek okán a diszkontrátát 0% - ban határozom meg. Amennyiben a várakozásoknak megfelelően jelentős importtúlsúlyt fedeztünk volna fel, véleményem szerint egy konzervatív becsléshez a diszkontrátát úgy lenne érdemes meghatározni, hogy a deltát az import és export összegek átlagának összegével elosztva kiszámolt arányszámmal tesszük egyenlővé.

A további statisztikai csapdák oly minőségben történő tesztelése mely valódi hozzáadott értékkel bírna esetünkben túlmutat a disszertáción, így elfogadom hogy az OEC adatai helytállóak és esetünkben alapozhatunk következő

A nettó földgázmérlegeket az adatokban szereplő országok esetében elemenként az alábbi, intuitív képlettel határoztam meg:

$$\text{Nettó Földgázmérleg}_{n,t} = \text{Export}_{n,t} - \text{Import}_{n,t} * (1 - r)$$

Ahol:

Nettó Földgázmérleg_{n,t}: N ország t időszakbeli nettó földgázmérlege

Export_{n,t}: n ország t időszakbeli földgázexportja

Import_{n,t}: n ország t időszakbeli földgázimportja

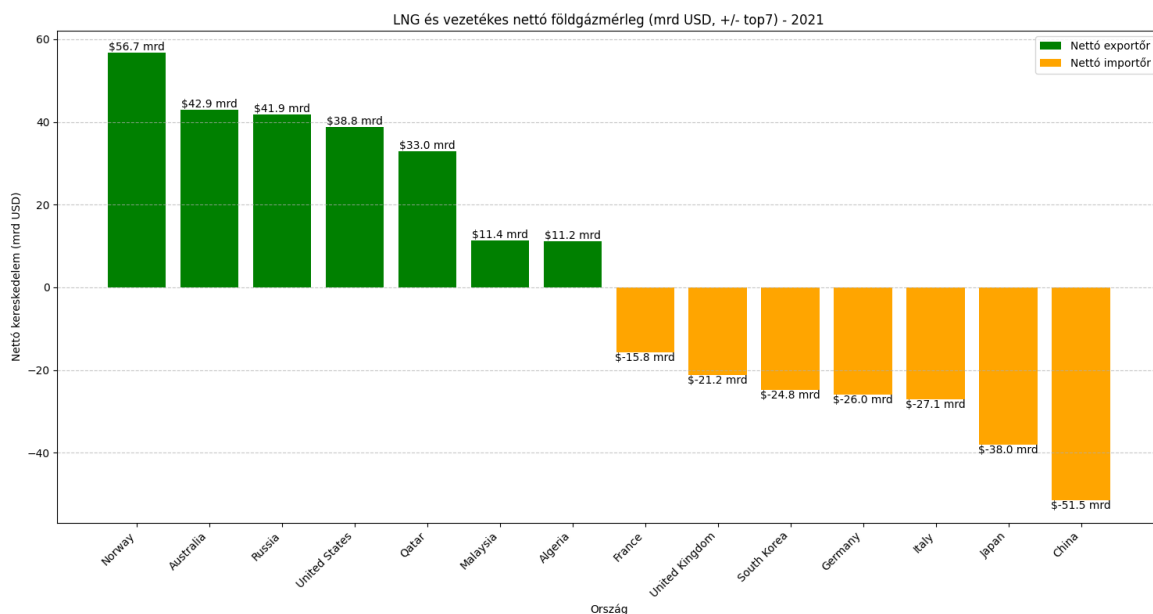
r: FOB – CIF redukciós faktor, esetünkben 0%

4.2. A globális földgázpiac 2021-ben, a konfliktus előtt

A 2021-es évben a globális földgázpiac stabil kereskedelmi mintákat mutatott, amelyekben a legnagyobb exportőrök és importőrök szerepe jól meghatározott volt. Az adatok elemzése számos kulcsfontosságú mintát tár fel.

Kulcsfontosságú exportőrök

Norvégia volt a vezető exportőr a vezetékes földgáz piacán, nettó exportja elérte az 56,7 milliárd dollárt. Ez az érték Norvégia kritikus szerepét mutatta az európai energiapiacra. Oroszország szintén jelentős szereplő volt, kombinált vezetékes gáz- és LNG-exportja körülbelül 42 milliárd dollárt tett ki (27,5 milliárd dollár vezetékes gáz és 14,4 milliárd dollár LNG). Katar és Ausztrália vezették az LNG-exportot, nettó értékeik 33 milliárd és 42,9 milliárd dollár voltak.



7. ábra: Nettó földgázmérleg (mrd USD, +/- top 7) - 2021

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/OEC_data.py

4.2.1. Kulcsfontosságú importőrök

Az ázsiai gazdaságok dominálták az LNG-fogyasztást, Kína volt a legnagyobb importőr, összesen 51,5 milliárd dolláros földgázimporttal (42,2 milliárd dollár LNG és 9,3 milliárd dollár vezetékes gáz). Japán hagyományosan jelentős LNG-importőr maradt, nettó importja 38 milliárd dollárt tett ki. Dél-Korea LNG-függősége szintén nyilvánvaló volt, nettó importja elérte a 24,8 milliárd dollárt. Európában Németország (25,9 milliárd dollár), Olaszország (24,1 milliárd dollár) és Franciaország (9,8 milliárd dollár) elsősorban vezetékes gázra támaszkodtak. Az Egyesült Királyság diverzifikáltabb megközelítést alkalmazott, jelentős mennyiségű vezetékes gázt (16,3 milliárd dollárt) és LNG-t (4,8 milliárd dollárt) is importálva. Kiemelném hogy a számos európai országnak jelentősen limitáltak a lehetőségei a gázpiaci diverzifikációra

4.2.2. Strukturális gyengeség az Európai gazdaság szívében: A német földgázdependencia

Németország döntése az atomerőművek fokozatos leállításáról 2011. június 30-án született meg, amikor a Bundestag megszavazta, hogy 2022-ig minden atomerőművet bezárjanak. A döntést elsősorban a 2011 márciusában bekövetkezett fukusimai nukleáris katasztrófa motiválta, amely komoly aggodalmakat vetett fel az atomenergia kockázataival

kapcsolatban. Az esemény társadalmi és politikai vitát váltott ki Németországban, amely „nukleáris moratóriumhoz” és az atomenergia biztonságának újraértékeléséhez vezetett. Angela Merkel kancellár kormánya – amely korábban támogatta az atomerőművek élettartamának kitolását – megváltoztatta álláspontját, és a fokozatos leállítási tervet széles parlamenti támogatással vitte keresztül, beleértve a Zöldek és a Szociáldemokraták támogatását is.

Németország az egyik – kvalitatívan fogalmazva - legfejlettebb gazdaság ahol mind az ipari, és a szolgáltatási szektor kiemelten fejlett, különösen az ipari termelés, és a termelési komplexitás terén mely indikálja hogy kiugróan magas az energetikai kitettsége a gazdaságnak.

Jelentős belföldi energetikai termelés hiányában, és a nukleáris leszerelés tényét ismerve egyéb jelentős alternatíva hiányában racionalizálható a hatalmas kitettség okán keletkező importvolumen.

Németország döntése az atomenergia fokozatos kivonásáról Oroszország Ukrajna elleni inváziója előtt mélyreható következményekkel járt az ország energiabiztonságára nézve, különösen az importált fosszilis tüzelőanyagoktól való függőség tekintetében. A politikai irányváltás egyik legjelentősebb következménye az orosz földgáztól való megnövekedett függőség volt. Mivel az atomenergia már nem járult hozzá a nemzeti hálózat ellátásához, Németország a földgázimporthoz fordult az energiaszükséglet kielégítésére, ezzel akaratlanul is kiszolgáltatottabbá téve magát geopolitikai kockázatoknak. Egyetlen meghatározó beszállítótól való függősége miatt az ország fokozottan ki volt téve az ellátási zavarok veszélyének, amely aggodalom valósággá vált, amikor a geopolitikai feszültségek fokozódtak.

Továbbá az atomenergia kivezetése magasabb energiaköltségeket és a hálózati stabilitás fenntartásával kapcsolatos kihívásokat eredményezett. Bár Németország jelentős beruházásokat hajtott végre a megújuló energiaforrások, például a szél- és napenergia területén, ezek az alternatívák még nem fejlődtek olyan szintre, hogy teljes mértékben pótolni tudják az atomenergia által korábban biztosított megbízható alapterhelési kapacitást. Ez az átmeneti időszak bizonytalanságot teremtett az energiaellátásban, valamint árin stabilitást okozott, amely mind a fogyasztókat, mind az ipari szereplőket érintette. Elemzők korábban is figyelmeztettek arra, hogy az atomenergia gyors kivonása, megfelelő és azonnali pótlás nélkül, gazdasági és energiabiztonsági problémákhoz vezethet.

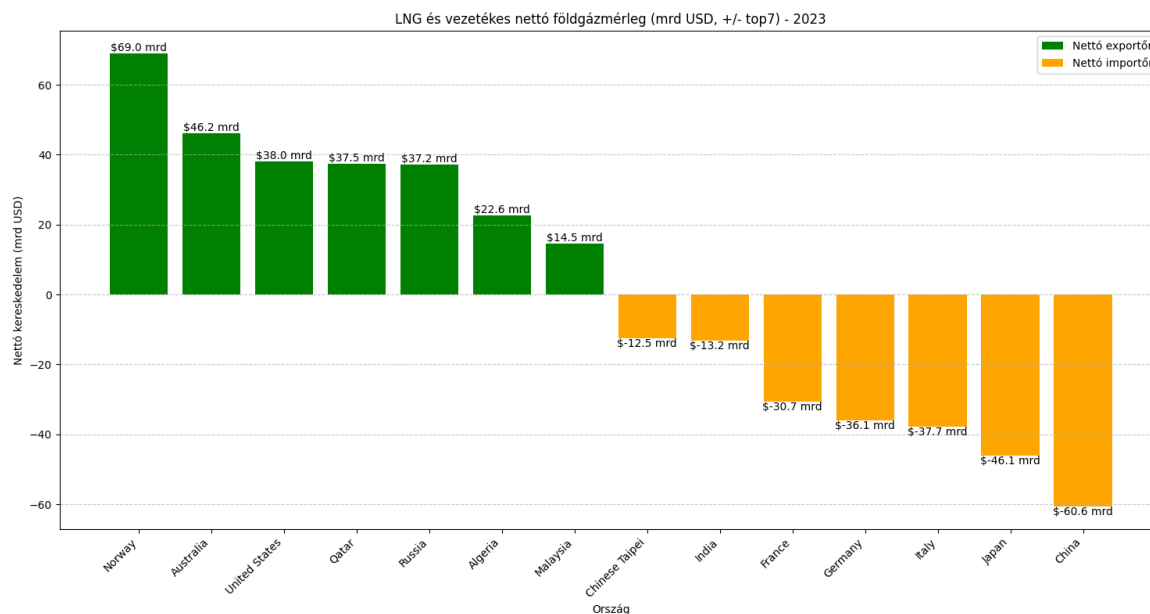
A politikai döntés Németországon belül heves vitákat váltott ki, egyes szakértők és politikai döntéshozók az atomreaktorok leállításának elhalasztását szorgalmazták az energiakockázatok redukálásának az érdekében. Azonban a közvélemény és a politikai elkötelezettségek nagyrészt a váltás mellett álltak ki, annak ellenére, hogy egyre nagyobb aggodalmak merültek fel az ellátásbiztonsággal kapcsolatban. Az ipari szektor, különösen az energiaigényes gyártási ágazat, jelentős kockázatokkal szembesült a lehetséges energiahány és az emelkedő költségek miatt. Mindezek a tényezők együttesen rávilágítottak Németország energiastratégiájának sérülékenységre, és megmutatták az atomenergia elhagyásának nem várt következményeit még azelőtt, hogy az ország stabil és diverzifikált energiamixet alakított volna ki.

4.3. A globális földgázpiac dinamikái: 2021–2023

A globális földgázpiac gyors átalakulása jól mutatja a geopolitikai események hatását. Az LNG kulcsszerepet játszott Európa energiabiztonságának megerősítésében. Az adatok elemzése rávilágít arra is, hogy két év alatt nagyobb változás történt a piacon, mint az előző két évtizedben. Globálisan az LNG részesedése nőtt a vezetékes gázkereskedelemmel szemben dollár alapú nominális megközelítésben, Európában drámai növekedés történt az LNG arányában, Ázsia továbbra is meghatározó régió maradt az LNG-importban, és az Egyesült Államok kulcsszereplővé vált az európai ellátásban.

Export oldal

A vezetékes gáz dominálta Európát, míg Ázsia az LNG-import fő régiója maradt. Ez a struktúra sebezhetőségi pontokat hozott létre, különösen Kelet-Európa orosz vezetékes gázfüggősége miatt. A 2023-as év drámai átrendeződést hozott a globális földgázpiacon. Az orosz-ukrán konfliktus következtében jelentős változások történtek mind a kereskedelmi volumenekben, mind az irányokban.



8. ábra: Nettó földgázmérleg (mrd USD, +/- top 7) - 2023

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/OEC_data.py

Norvégia megerősítette pozícióját Európa fő szállítójaként: vezetékes gázexportja 66,5 milliárd dollárra nőtt (+17%), míg LNG-exportja is bővült. Oroszország exportprofilja jelentősen átalakult: vezetékes gázexportja 33%-kal csökkent (18,5 milliárd dollár), míg LNG-exportja 30%-kal nőtt (18,7 milliárd dollár), jelezve Ázsia felé történő stratégiai elmozdulását. Az Egyesült Államok drámai növekedést mutatott az LNG-exportban (+15%, elérve a 40,3 milliárd dollárt), miközben vezetékes gázban nettó importórré vált (-2,3 milliárd dollár). Katar és Ausztrália tovább növelték LNG-exportjukat.

Kulcsfontosságú importőrök

Európa gyorsan áttért az LNG-re az orosz vezetékes gáz pótlására lehetőségeihez mérten:

Németország: Az LNG-import kapacitás gyors fejlesztése révén elérte a 2,5 milliárd dollárt.

Olaszország: Az LNG-importot 146%-kal növelte (7,9 milliárd dollár).

Franciaország: Több mint kétszeresére növelte LNG-importját (14,1 milliárd dollár).

Kína továbbra is a legnagyobb globális importőr maradt: LNG-importja nőtt (43,4 milliárd dollár), míg vezetékes gázimportja is bővült (17,1 milliárd dollár). Japán LNG-importja szintén nőtt (46,1 milliárd dollár).

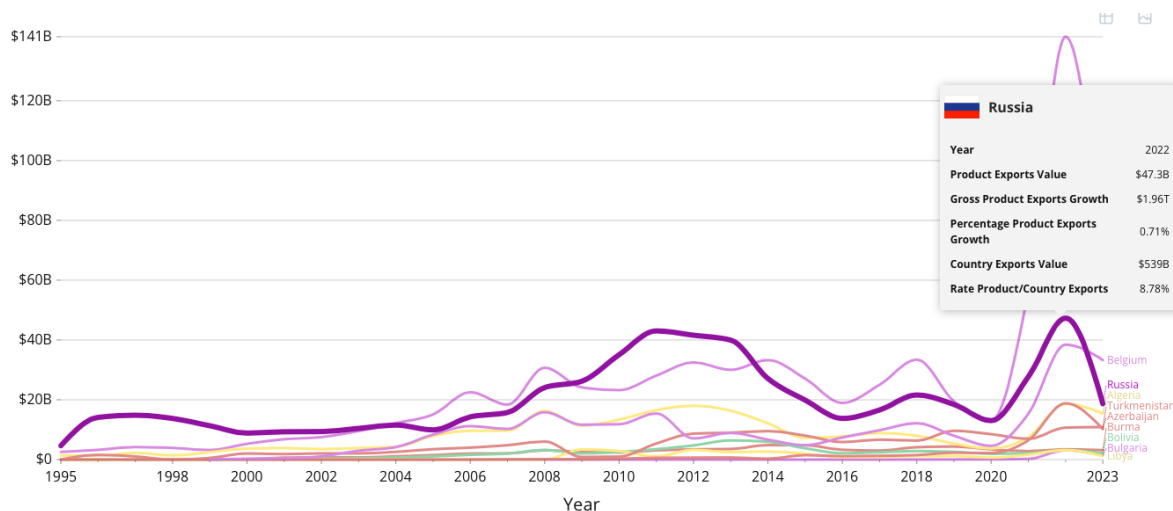
4.4. Miért vallottak kudarcot az orosz földgázsankciók?

Az Ukrajna elleni orosz inváziót követően az Európai Unió és más nyugati országok szankciókat vezettek be az orosz földgázexporttal szemben, hogy csökkentsék Oroszország energiabevételeit és gyengítsék hadviselési képességét. A szankciók azonban nem érték el teljes mértékben céljukat, sőt, paradox módon hozzájárultak Oroszország gázból származó bevételeinek növekedéséhez. Ez a hatás elsősorban a piaci árak drasztikus emelkedésének köszönhető, amely kompenzálta az exportált mennyiségek csökkenését.

A szankciók jelentős visszaesést eredményeztek az Európába irányuló orosz földgázexportban. 2023-ra az orosz gázimport volumene mindössze 8%-át érte el a 2021-es szintnek. Az olyan országok, mint Németország és Olaszország, alternatív források felé fordultak, például LNG-importot növelve az Egyesült Államokból és Katarból. Az orosz export jelentős része azonban továbbra is folytatódott alternatív útvonalakon, például a Török Áramlaton keresztül.

A kínálat drasztikus csökkenése a szankciók miatti fizikai korlátok által amplifikált szélsőséges piaci kockázatokat idézett elő, amelyek rekordmagas földgázárakat eredményeztek 2022-ben és 2023-ban, és a geopolitikai bizonytalanság és az alternatív források hiánya tovább súlyosbította a helyzetet. Az árak emelkedése okán Oroszország még csökkentett exportvolumen mellett is jelentős többletbevételekre tett szert.

Az Oxford Energy Institute (2025) alapján az európai szankciókkal kapcsolatos bizonytalanság tartósan magasán tartotta az árakat, lehetővé téve Oroszország számára, hogy rekordbevételeket érjen el annak ellenére, hogy exportja volumene jelentősen visszaesett, 2023-ban a Gazprom termelése 25%-kal csökkent, de a magas árak miatt bevételeik stabilak maradtak.



9. ábra: Földgázexport bevételek idősoros ábrázolása, Oroszországot kiemelve

Forrás: <https://oec.world/en>

A földgázszankciók hatékonyságát tovább korlátozták strukturális problémák. Ellentétben a kőolajjal, a földgázt nem sikerült egységesen szankcionálni az EU minden tagállamában, mivel egyes országok (például Magyarország és Szlovákia) továbbra is fizikai kényszerek és limitációk okán importálták az orosz gázt alternatív forrás hiányában. Emellett Oroszországnak sikerült részben átcsoportosítania exportját Ázsia felé, különösen Kínába a Szibéria Ereje vezetéken keresztül.

Az orosz földgázszankciók kudarcának fő oka azok nem várt gazdasági következményeiben rejlik. Bár sikerült csökkenteni az exportált mennyiségeket, az ársokk miatt Oroszország bevételei továbbra is magasak maradtak. Ahogy Agfajrina (2022) rámutatott, az energiahordozókra kivetett gazdasági embargók gyakran globális árnövekedést idéznek elő anélkül, hogy elérnék a célzott ország pénzügyi korlátozását. A jövőbeni politikáknak figyelembe kell venniük ezeket a nem kívánt hatásokat, például volumetrikus korlátozásokat kell kombinálniuk globális árstabilizációs intézkedésekkel.

5. GÖRGETETT ICE TTF FUTURE DERIVATÍV KONTRAKTUSOK FRONT TENOR ZÁRÓÁR ALAPÚ IDŐSOROS RIZIKÓANALÍZISE PROGRAMATIKUSAN

5.1. Az idősor megválasztásának indoklása

Az konfliktus okán fellépő gázpiaci sokkhatás vizsgálatára az ICE TTF gördülő front tenor határidős kontraktusok napi záróárazását választottam. A határidős szerződés (továbbiakban szigorúan future) egy szabványosított, jogilag kötelező érvényű megállapodás, amelynek keretében az aláíró felek előre meghatározott áron, egy adott jövőbeni napon vállalják egy adott eszköz megvásárlását vagy eladását. Ezek a szerződések lehetővé teszik a piaci szereplők számára, hogy fedezzék magukat az árfolyam-ingadozásokkal szemben, vagy spekulatív célból kereskedjenek az árak jövőbeli alakulására. A szabványosítás kiterjed a szerződés méretére, a lejárat dátumokra és az elszámolási eljárásokra (amelyek lehetnek fizikai vagy készpénzes elszámolásúak, esetünkben fizikai elszámolás az irányadó), míg a fedezeti követelmények (margin call) segítenek mérsékelni az ellenoldali kockázatot (counterparty risk).

A front month rolling future esetében a kontraktus birtollója a lejárat közeledtével a legközelebbi, vagyis „front month” szerződés pozícióját tartja, majd annak lejáta előtt ezt a pozíciót átváltja a következő elérhető szerződésre. Ez az átváltási folyamat lehetővé teszi, hogy a piaci szereplők folyamatosan jelen legyenek az alaptermék piacán anélkül, hogy fizikai átvételre lenne szükség, így elkerülve a szerződés lejáratával kapcsolatos likviditási problémákat és esetleges piaci zavarokat. A spekulatív kockázati befektetők (Hedge Fund) és a pénzintézetek (Citibank, Morgan Stanley, stb..) kik nem rendelkeznek megfelelő apparátussal a termék tárolására, forgalmazására, vagy direkt felhasználására rendre ezen kontraktustípust részesítik előnyben hogy az európai gázpiac árazására kitettségre (Exposure) tegyenek szert.

Az ICE TTF földgáz határidős szerződés főbb specifikációi a következők:

Alaptermék és árképzés: A szerződés a Title Transfer Facility (TTF) csomóponton történő földgázszállításon alapul, és az árakat euróban per megawattóra per napban (EUR/MW/h/day) határozzák meg.

Szerződésméret: Egy szerződés egy MW/h/nap méretű szállítmányt képvisel.

Minimum P delta (Tick size): A minimális tick mérete 0,005 € per MW/h, ami szerződésenként $0,005 * 24(\text{óra}) * \text{tárgyhavi napok száma}$ értéknek felel meg.

Szállítás és kereskedés: A szállítási időszak általában egy naptári hónapot ölel fel, az utolsó kereskedési nap pedig a szállítási időszak kezdete előtti egy munkanappal van meghatározva. Az ICE részletesen szabályozza a kereskedési órákat, az elszámolási folyamatokat és a fedezeti követelményeket.

Ezek a specifikációk biztosítják a piac hatékonyságát és átláthatóságát, elősegítve a kockázatkezelést és az ármeghatározást a földgázpiacon.

A gördülő front tenor határidős szerződések állandó volatilitás horizont jellemzőkkel rendelkeznek, amelyek jelentősen leegyszerűsítik a statisztikai modellezést a fix lejáratú szerződésekkel szemben. A volatilitási horizont azt a konkrét időintervallumot jelenti, amely alatt egy eszköz árfolyamának volatilitását – azaz az árfolyamváltozás várható mértékét – mérik vagy előrejelzik. Lényegében ez határozza meg azt a jövőbeni időablakot, amely alatt a várt árfolyam-ingadozásokat vetítik, majd összegzik és elemzik például Monte Carlo szimuláción, vagy egyéb sztochasztikus folyamatokon alapuló módszertannal.

Ahogy a tudományos szakirodalom is megjegyzi: „Ezért előnyösebb a határidős árak időbeli alakulását tanulmányozni állandó tenorszintekkel, amelyek az aktuális időhöz képest gördülnek”, mivel „volatilitásuk állandó, és a relatív tenor növekedésével csökken, a Samuelson-hipotézis értelmében” (Mu, X., 2009, p. 5.). Ez az állandóság lehetővé teszi az idősoros elemzési technikák alkalmazását, amelyek általában állandó szórást feltételeznek.

Volt szerencsém 2023-ban Kirubakaran Rajasingamot (EUPG Desk Head, Citibank) hallgatni azonos alaptermékű (ICE TTF) furute kontrakusok '22 év végén tapasztalható éles aszimmetriákról az árak terén ahol csupán a lejárat dátum különbözött, és egy kardinális gondolatot szeretnék kiemelni mely éreztetheti mennyire szürreális tud lenni a holnapi (day-ahead, DA) és az aznapi (within day, WD) árazás krízishelyzetekben. Az ott kifejtett gondolatait (jobb médium híján) emlékezetből idézem:

„Amikor megawattontként 3 számjegyű értékekért kelt el a front tenor volt hogy egyszámjegyű összegekért vettünk spot gázt fogyasztóktól és spekulánsoktól akik túlhedgeltek a fogyasztók esetén, vagy a felszáradó likviditás okán nem tudtak neutrális kitétségre zárni a spekulátorok esetén, és muszáj lett volna átvenniük a gázt fizikailag melyre lehetőségeik nem voltak adottak, ennek okán majdnem ingyen is odaadták volna bárkinek, csak vigyék!”

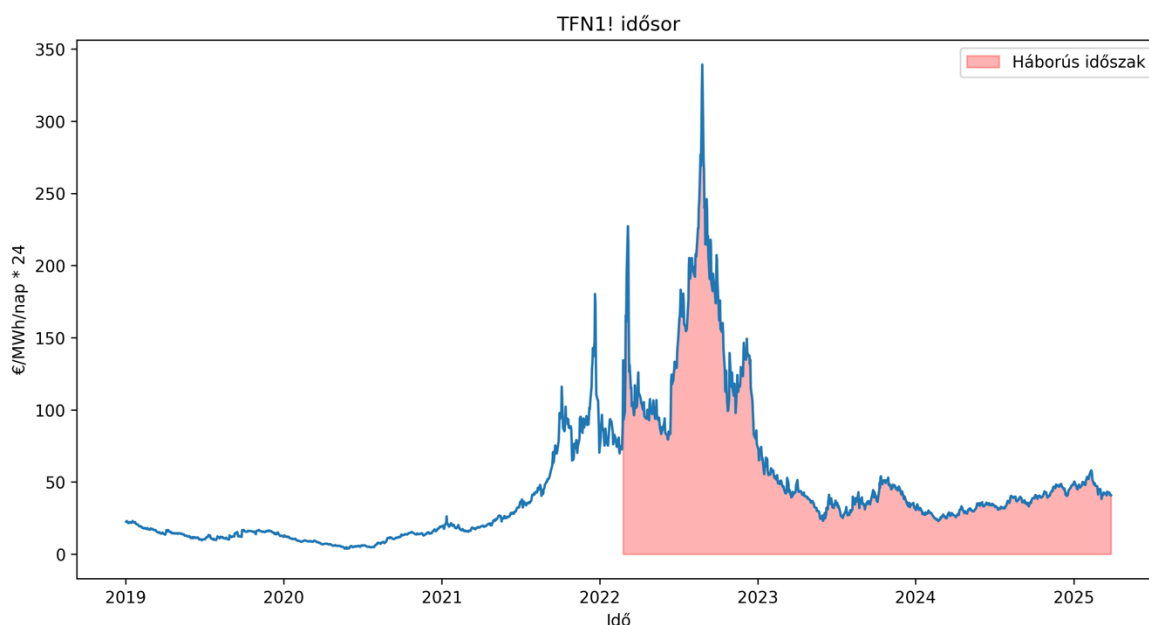
Habár intraday (WD) adatok hivatalos beszerzése meglehetősen nehézkes hivatalos úton, amikor volt alkalmam Trayport terminál előtt ülni sikerült ellenőrizni Kiru gondolatait - bár aligha kételkedtem bennük. '22 Októberében a front tenor 99 és 176 EUR sáv között talált gazdára, eközben jelentős több napon át tartó beesés volt megfigyelhető, és egy napon 9 eurós záróárat is megfigyeltem! Érdemes egy picit elgondolkozni mi lehet ennek a hátterében. Amikor a Citibank gáz timespread vezető kereskedőjét megkértem hogy avasson be az üzlet természetébe mosolyogva annyit mondott hogy „At it's essence we just buy low and sell high...”. Ennek alapja a gáz ciklikussága a téli fűtési felhasználás okán, és a nyári olcsóbb gázt télig „cipelik”, de azért jelentősen árnyalja a komplexitást a tározókapacitások aukciós dinamikája, és a további cost of carry okán taglalásra kerülő elemek az 5.2.2. alfejezetben. Ellenben a timespread ügylet inputoldali felvevőigény mely rendre meghozza a likviditást a spot piacon megjelenő áresések esetében véleményem szerint októberre már bőven felszáradt, de ez nem lehet kiváltó ok csak egy elem. Szerintem a valódi kiváltó ok, hogy ipari fogyasztók a drasztikus áremelkedéstől tartva a feltételezett fogyasztásuk közel egészét minél előbb szerették volna fedezni forward és future kontraktusok útján melyek

vételével a gyakorlati adottság okán fennálló short kitettséget a long derivatívának megvételével neutrális (közeli..) kitettségre zártak mellyel kvázi eladták a periódusra a gázpiaci kitettséget egy turbulens piaci környezetben. Ugyanis ne felejtjük el, a derivatívák esszenciájukban rizikótranszfer eszközök. Ellenben – habár adat hiányában nem tudom igazolni – véleményem szerint kellő szakmai apparátus és tapasztalat hiányában a teljes kitettséget (várt fogyasztást) transzferálták derivatív ügyleteken keresztül, és a rizikómenedzsment stratégia esetében meglehetősen primitív módszertannal az 1 évvel megelőző periódus teljes fogyasztását 1:1-ben alapul vették az ügylet alapjának. Az enyhe időjárás (fűtési felhasználás), a gazdasági lassulás, és a fogyasztói várakozások romlása okán feltételezem redukálták ezek a piaci szereplők a termelést aminek okán csökkent az energiafelhasználásuk. A vezetékes infrastruktúrának hatékony működtetésének elengedhetetlen követelménye a sztenderd nyomás fenntartása, minek okán az infrastruktúra üzemeltetője (Magyarországon a MEKH) felügyeli a jegyzett lejáró határidős és spot ki és betáplálási kötelezettségeket és ezek elmulasztásának esetén a felmerülő költségeket a vétkesre hárítja. Ebből faladóan egy 'túlhedgelt' piaci aktor kényszerhelyzetbe kerül hogy szabaduljon a felhasználási kötelezettségétől, ellenben az ilyen 'bakik' felvevőpiaca híján és feltételezve hogy számos szereplő járt azonos módon könnyen racionalizálhatjuk Kiru gondolatait.

Az idősoros kockázatemelés kapcsán így a front tenor vizsgálatával a spot árakkal szemben kiszűrjük a hasonló ingadozásokat melyek jelentősen torzítanák megfigyeléseinket. Fontosnak tartottam a történet és a gondolatvilág megosztását, hogy egy akár nyersanyagpiaci derivatív ügyletek gyakorlatát nem ismerő olvasónak is intuitív legyen az adatsor kiválasztásának háttere.

5.2. ICE TTF front tenor (TFN1!) idősoros vizsgálata

5.2.1. Az idősor és az árfolyameloszlás tanulmányozása



10. ábra: TFN1! idősor

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Variance.py

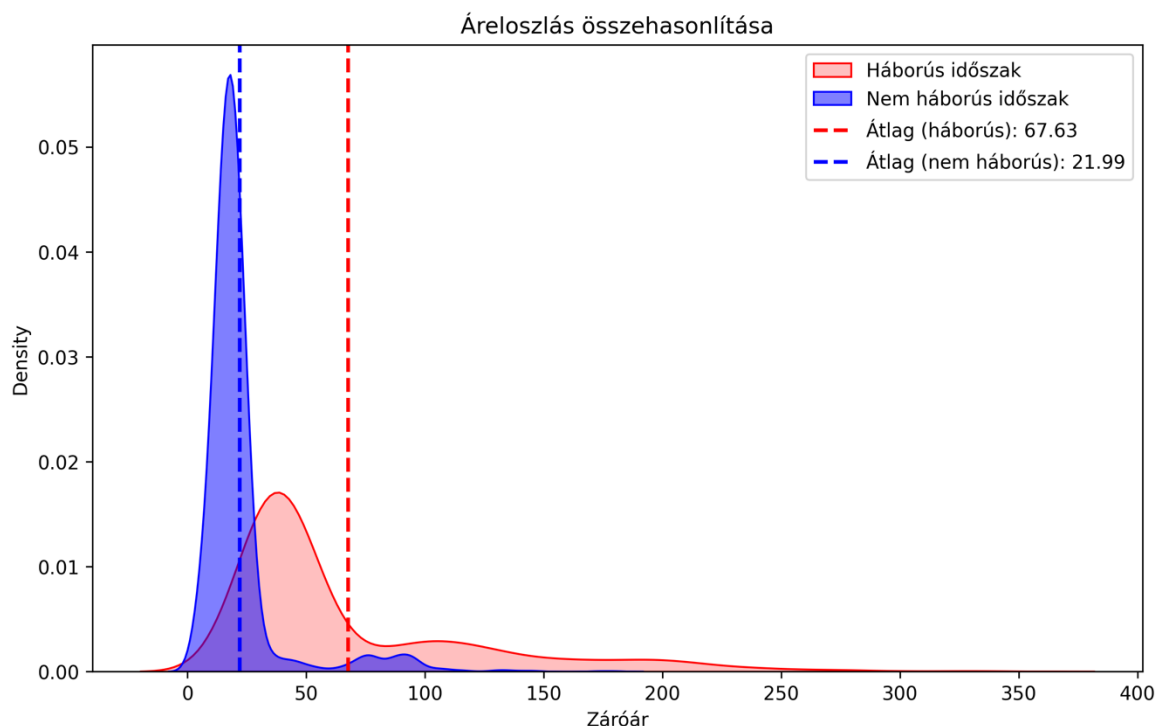
Az idősor árának leíróstatistikai elemzéséhez alapul vett értékek replikálhatóak a Descriptive.py futtatásával. Az ábrán a háborús és nem háborús időszakok záróárainak eloszlása került összehasonlításra, amely jól szemlélteti a két időszak árszínvonalának és volatilitásának eltérő jellemzőit. A háborús időszak (piros) eloszlása szélesebb és jobbra elnyúlóbb, míg a nem háborús időszak (kék) eloszlása szűkebb és koncentráltabb. A háborús időszak átlagos záróára 67,63 EUR, amely jelentősen meghaladja a nem háborús időszak 21,99 EUR-os átlagát. Ez a különbség az árak általános emelkedésére és az extrém áresemények gyakoribb előfordulására utal konfliktus idején.

Az eloszlások pozitív ferdesége (háborús időszak: 1,87; nem háborús időszak: 3,68) azt jelzi, hogy mindkét esetben az árak többsége az átlag alatti tartományban helyezkedik el, miközben ritkább, de kiugróan magas értékek húzzák felfelé az átlagot. Ez különösen igaz a nem háborús időszakra, ahol az extrém áresemények hatása még hangsúlyosabb. Az

interkvartilis terjedelem (háborús: 34,41–91,16 EUR; nem háborús: 14,46–21,95 EUR) szintén megerősíti a háborús időszak fokozott árvolatilitását.

A 10. és 11. ábra alapján egyértelműen látható, hogy a háború jelentős hatással volt az árak szóródására és szintjére. A konfliktus által kiváltott ellátási zavarok és piaci bizonytalanságok nemcsak az átlagos árszintet növelték meg drasztikusan, hanem az árfolyam-ingadozások mértékét is jelentősen fokozták.

Az idősoros adatok alapján kijelenthető, hogy a rizikót tekintve a konfliktus óta paradigmaváltás történt és drasztikusan emelkedett a szektorral és a nyersanyaggal asszociálható rizikó. Ellenben láthatjuk, hogy mind az ár mind a volatilitás drasztikusan, már jelentősen a konfliktus hivatalos datálását (2022-02-24) jelentősen megelőzően emelkedett, és fontosnak tartom ennek hátterének feltárását melyet a 4.2-es alfejezetben teszek meg.



11. ábra: TFN1! napi záróár sűrűségeloszlása

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Variance.py

A dummy változó alapján differenciálva a diagramom két markánsan eltérő, de hasonló struktúrájú árszínvonal-eloszlást szemléltet a háborús és nem háborús időszakokban. Mindkét eloszlás jelentős pozitív ferdeséget (jobbra hosszan elnyúló eloszlást) mutat, ahol az átlagértékek (67,63 a háborús és 21,99 a nem háborús időszakban) számottevően

meghaladják a mediánt, ami aszimmetrikus áreloszlásra utal. Ez a pozitív ferdeség mindkét időszakban azt jelzi, hogy a legtöbb ár valójában az átlag alatt helyezkedik el, miközben ritkább, de extrém magas árkiugrások húzzák felfelé a számtani átlagot, ami növeli a bizonytalanságot és a piaci kockázatot. A háborús időszak eloszlása jelentősen szélesebb szórást és hangsúlyosabb jobboldali aszimmetriát mutat, ami a háború által kiváltott ellátási sokkok következménye. Az átlagos árszint 207%-os növekedése mellett a háborús időszak fokozott volatilitással és gyakoribb extrém áreseményekkel jellemezhető, míg a nem háborús időszakban az árak alacsonyabb értéktartományban koncentrálnak. A mediánt meghaladó átlagértékek mindkét időszakban arra engednek következtetni, hogy a "tipikus" piaci ár valójában alacsonyabb, mint amit a számtani átlag sugall, azonban ez a jelenség a háborús időszakban jelentősen felerősödik, összhangban azzal a megállapítással, hogy a konfliktusok tartós ellátási zavarokat okoznak, amelyek nem csupán magasabb átlagárakat, hanem megnövekedett áringadozást is eredményeznek, különösen a konfliktushoz kereskedelmi vagy földrajzi közelségben álló piacokon.

5.2.2. Kísérlet az Árak időkölség szerinti harmonizálására (*Cost of Carry*)

Úgymond a képet lehet árnyalni azzal hogy egy helyesen megválasztott rizikómentes kamatrátának idősoros értékei alapján napi kamatrátát felszámolva – és ezzel implementálva a cost of carryt – az árakat a legfrissebb megfigyelésig „cipelnénk”, vagy alternatív módon a későbbi árakat korábbi periódusra diszkontálnánk. A határidős árazásban használt standard költségviselési (cost of carry, CoC) képlet, amely a pénzügyi szakirodalomban következetesen megjelenik:

$$F = Se^{((r + s - c) \times t)}$$

Ahol:

F a méltányos határidős árat jelöli

S az aktuális azonnali (spot) ár

e a matematikai konstans (megközelítőleg 2,718)

r a kockázatmentes kamatláb

s a tárolási költségeket jelöli

c a kényelmi hozam

t: a lejáratig hátralévő idő években kifejezve

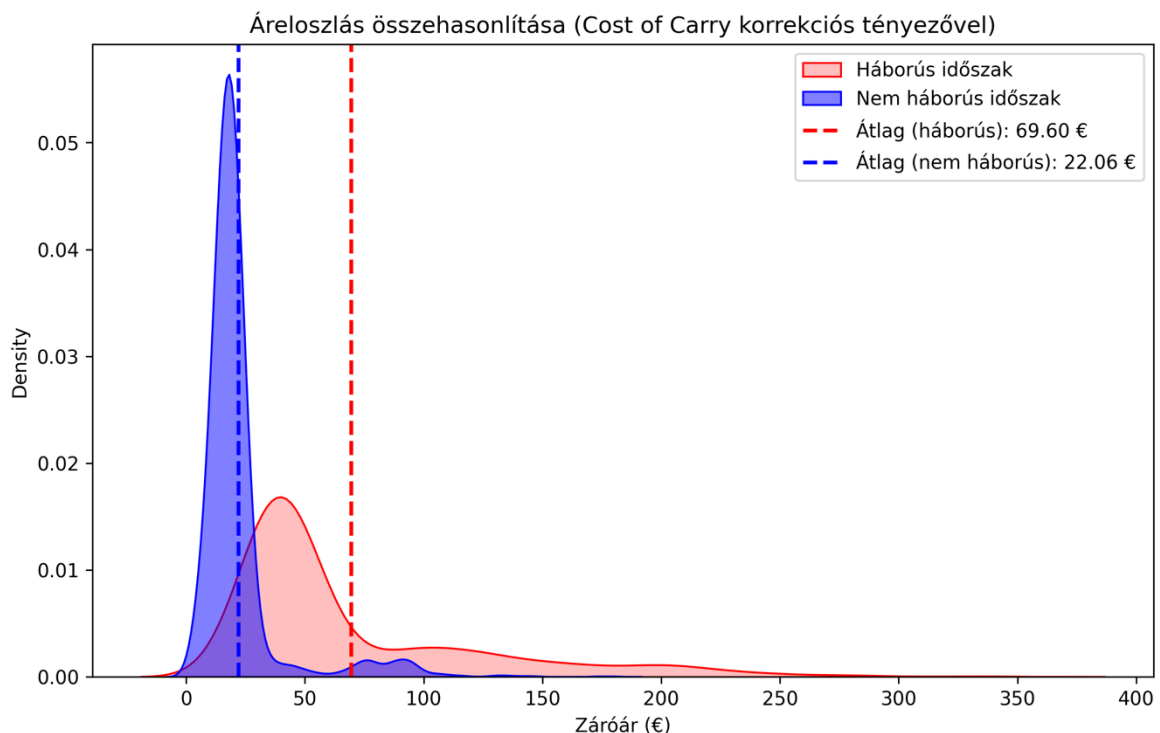
Földgáz esetében úgy racionalizálható a képlet például egy time spread ügylet kiértékelésekor, hogy a pillanatnyi (spot, S) áron feltételezzük hogy vevőként megjelenünk, majd a future piacon el is adjuk a terméket, illetve megbecsüljük a felmerülő költségeinket, amely a pénz időértéke (r), és a tárolási költséget (s) mely rendre egy gáztározó aukción ajánlott árát jelenti, és beárazzuk a rizikóvállalásért általunk megkövetelt hozamot (c) a future long oldali vevőjének. Az így festett már már banális egyszerűsítést rengeteget lehet árnyalni például ha megengedjük, hogy nem a pillanatnyi áron zárjuk be az ügyletet a future piacon, hanem nyitva hagyjuk a kitettséget azon feltevessel élve hogy a future árak emelkedni fognak, vagy nem statikus finanszírozási költséggel számolunk hanem várakozásunk szerint változni fognak a ráták. Továbbá fizikai korlátokkal is szembesülhetünk, ugyanis a tárolóknak limitált a betáplálási és kitáplálási kapacitása, így úgymond spoton rendre nem lehet megtölteni a tározót, ellenben a spoton megvett, vagy eladott mennyiséget kötelező a rendszerből kivenni, vagy betáplálni, különben sérül a sztenderdizált nyomás és rendre a regulátorok súlyos bírságokkal illetik a nyomásváltozás okozását!

A CoC, egyszerűnek ható de végletekig bonyolítható gondolat világát szeretném dimenziókat redukálva egyszerűsíteni egy mezei fordított diszkontra és egy benchmark rizikómentes kamatláb bevezetésével a spot árakat napi kamatelszámolást, és természetes növekedést feltételezve időben harmonizálom a legfrissebb záróár pillanatáig!

A módszer alkalmazása során fontos megérteni, hogy a cost of carry nemcsak előre vetíti a jövőbeli árakat, hanem lehetőséget kínál arra is, hogy a későbbi időszakokat visszavetítsük korábbi periódusokra diszkontálva. Ez különösen hasznos lehet olyan helyzetekben, amikor összehasonlítani kívánjuk az árak történeti eloszlását különböző időszakokban. A ráta kiválasztásánál operáljon bármilyen devizában a gazdasági aktör, a devizarizikót az ügyletet denomináló devizából érdemes eredeztetni, kivéve ha a devizarizikó (FX exposure) derivatív termékekkel történő transzferje nincs tervben, de rendre ezen igény további költségvonzatot jelent. Az EUR pozíció esetében a rizikómentes hozamoknak megfelelő hozamgörbe (curve) általam vélt megfelelő alanya az Európai Központi Bank (ECB) által megállapított főbb refinanszírozási kamatláb, az EUINTR mely a hivatalos irányadó kamatláb, amelyet az ECB használ az euróövezet monetáris politikájának alakításában, és ezt tartják a legmegfelelőbb referenciaértéknek az euró költségviselési számításokhoz. A pénzügyi költségviselés (financial carry) számításakor ezt a rátát (is) alkalmazzák a pozíció fenntartásával járó kamatköltségek alapértékének meghatározására, és az általam látott piaci

gyakorlatban actual/360 kötvénypiaci konvencióval élve, illetve a finanszírozott ügylet csődkockázatának (default risk) becsléséből képezetes további additíven hozzáadott rátanövekménnyel terhelik a pozíciókat.

Megemlíteném, hogy alternatívaként napjainkban használható még az euro short-term rate (€STR) is, amelyet az ECB és más európai intézmények ajánlottak a kockázatmentes rátaként (risk-free rate) az euróövezetben, mely felváltotta a korábban használt EONIA-t, amely 2022. január 3-án megszűnt. Tekintettel, hogy az idősorunk messze túlmutat az euro short-term rate bevezetésénél pragmatikai megfontolásból elvettem a ráta használatát.



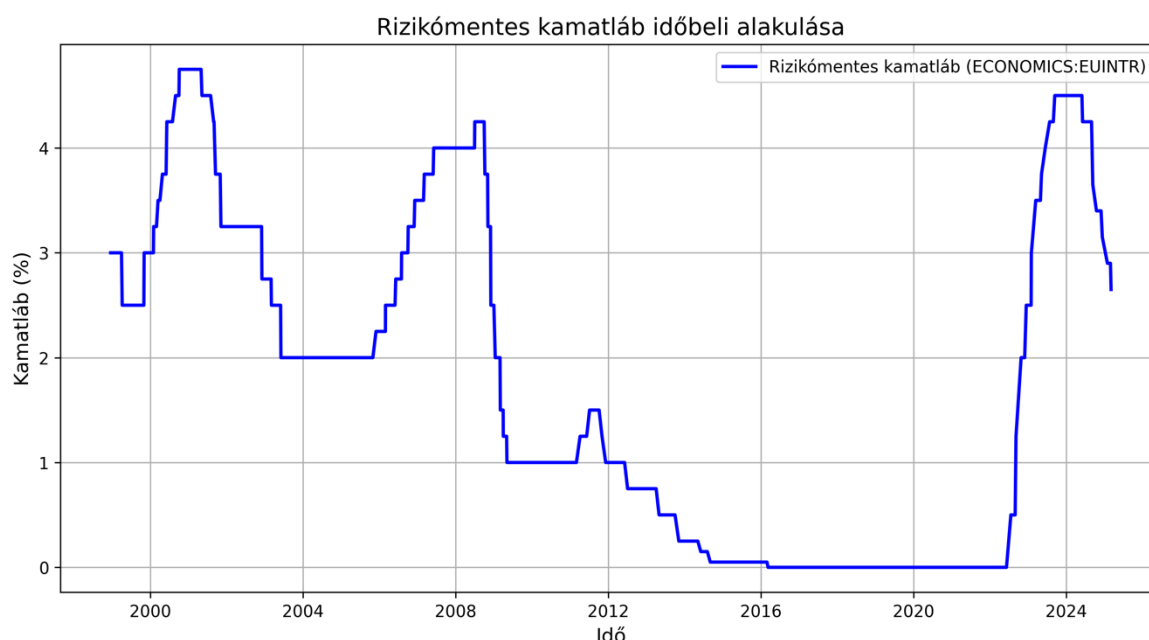
12. ábra: TFN1! napi záróár sűrűségeloszlása (financial carryvel)

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Descriptive.py

Az intuitív várakozásaimmal ellenkezve, nominálisan távolodtak az átlagok, mely racionalizálható az alkalmazott ráta immateriális jellegével (0.00%-os érték 10/03/2016-tól 09/06/2022-ig), és a – véleményem szerint – energiasokk indukálta infláció megfékezésének céljából világszerte emelkedő finanszírozási költségek és jegybanki alapkamatok csupán a közelmúltban (21/07/2022, 50 bázispont kezdeti emelés) kezdtek emelkedni, mikor már a

konfliktus javában tartott, és a számottevően magasabb 67.63-as Átlag jelentősebb nominális alapot adva nominálisan nagyobb értékhelyesbítést realizált.

Kiemelném, hogy a carry költségek számos nyersanyagkereskedelem esetén kifejezetten jelentős elemét mellőzöm a számítás során mint a „kényelmi hozam” (c), és a tárolási költségek (s), a carrynek csupán a kamatláb alapú komponensét ragadtam meg. A kihagyott tényezők figyelembevétele mind adatgyűjtés mind számítás szempontjából lényegesen komplexebb kihívás, de potenciálisan pontosabb képet adhatna a háborús és nem háborús időszakok közötti árkülönbségek természetéről, különösen mivel a vizsgált konfliktus során a tárolási költségek és a kényelmi hozam értéke is jelentősen ingadozhatott az ellátási bizonytalanságok következtében.



13. ábra: EURINTR idősor

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/EURINTR_plot.py

Tekintettel, hogy a konfliktust megelőzően gyakorlatilag elhanyagolható értékeket figyelhetünk meg az euró kockázatmentes kamat benchmark esetében, a továbbiakban elvetem a használatát az árak időkölségdimenzióbeli harmonizálására, ellenben ha fordítva lenne, és materiálisan felértékelné az időben távolibb megfigyelések, a továbbiakban is alkalmaznám a számításokhoz.

5.2.3. Konfliktust megelőző piaci gyengeségek, avagy ne írjunk mindent az energetikai sokk számlájára

Számos tanulmány és elemzés foglalkozik azzal, hogy miért emelkedtek meredeken a TTF földgázárak 2021 végén, közvetlenül az orosz inváziót megelőzően, és a következő kulcsfontosságú tanulmányokat szeretném kiemelni:

Minjie et al. (2023) tanulmánya kiemeli, hogy az orosz-ukrán konfliktus felerősítette ezeket a meglévő sebezhetőségeket, ami jelentős áremelkedést eredményezett olyan főbb piacokon, mint a TTF.

Az Oxford Institute for Energy Studies (OIES) részletesen bemutatja azokat a kínálati tényezőket, amelyek 2021 utolsó negyedében hajtották az áremelkedést, különös tekintettel az orosz gázszállítások csökkenésére és az LNG korlátokra.

Az European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER) szerint az orosz vezetékes szállítások visszaesése volt a kritikus tényező az árugrások mögött 2021 végén és 2022 elején.

Ezek a tanulmányok együttesen magyarázzák, hogyan vezetett a gazdasági helyreállítás, kínálati korlátok, alacsony tárolási szintek, piaci dinamikák és geopolitikai kockázatok tökéletes vihart eredményezve ahhoz, hogy meredeken emelkedjenek a TTF földgázárak még az orosz invázió előtt.

Az alábbiakban összefoglalom a legfontosabb megállapításokat ezekből a forrásokból kiegészítve pár egyéb forrással és önálló gondolattal a geopolitikai feszültségek terén.

Gazdasági fellendülés és kínálati korlátok

A COVID-19 járványt követő gazdasági aktivitás helyreállása növelte az energia iránti keresletet, ami már 2020 végére visszanyomta a földgázárakat a járvány előtti szintre. Ez a trend 2021-ben tovább folytatódott, és az európai gázárak 2021 októberére rekordmagasságot értek el (116 €/MWh) a növekvő kereslet és korlátozott kínálat miatt.

Olyan tényezők, mint az alacsonyabb vízenergia- és nukleáris termelés 2021 nyarán, növelték a gázüzemű erőművek iránti igényt, tovább feszítve a kínálatot és emelve az árakat.

Kínálati oldali kihívások

Az európai földgáztermelés csökkenőben volt, amit az orosz gázvezetékek szállításának visszaesése súlyosbított. 2021 utolsó negyedében az orosz gázz szállítások kritikus útvonalakon, például a Yamal-Europe vezetéken jelentősen visszaestek, ami komoly piaci szűkösséget eredményezett.

Az LNG-import Európába szintén korlátozott volt a globális kereslet miatt, különösen Ázsiában és Dél-Amerikában. Ez megakadályozta Európát abban, hogy megfelelően feltöltse tárolóit a tél előtt.

Piaci dinamikák és árvolatilitás

A TTF piac, mint Európa leglikvidebb földgázpiaci központja, fokozott árvolatilitást tapasztalt a rövid távú kínálati-keresleti egyensúlyhiány miatt. A súlyos tél miatti aggodalmak 2021 végén tovább erősítették a spekulációt és az árugrásokat.

A tárolási szintek kritikusan alacsonyak voltak 2021 végére—kb. 20 milliárd köbméterrel az átlag alatt—ami piaci bizonytalanságot és magasabb árakat eredményezett.

Geopolitikai feszültségek

Bár az invázió csak 2022 februárjában történt meg, már 2021 végén is hatással voltak a geopolitikai feszültségek a piacokra. Az orosz gázellátás esetleges megszakadásától való félelmek kockázati prémiumot adtak az árakhoz. Fontos megjegyezni hogy a future kontraktusok, esetünkben az 1 hónappal előre tekintő az ipar aktorainak (termelők, felhasználók, spekulátorok, és hedgelők) várakozásainak pillanatnyi konszenzus árazását testesítik meg, ellenben a vételi oldalon messze nem csupán ezen kontraktusokra korlátozódik a beszerzés, jelentős a WD, DA, és BOM beszerzés is az egy adott időben elfogyasztani szükséges földgáz tekintetében, ám növekvő bizonytalanság esetén már előre, és minnél több bizonyosságot szeretne megszerezni számos aktor, így sokszor már proaktívan, a kockázati sokk megtörténte előtt a bekövetkezési valószínűség fokozódásának okán jelentős likviditástöbblet jelenik meg a piacon. Munkám során azt tanultam a traderektől hogy rendre potenciális, még meg nem történt események bekövetkezésének várakozása kimutatható és a konszenzus mérhető a derivatív piacokon, gondolhatunk itt esetünkben a jövőbeli vélt ár jelenidőbeli diszkontált értékére (TFN1! future ár), vagy az opciós piacokon megfigyelhető implikált volatilitás (IV) által felvett értékre.

A Banca d'Italia tanulmánya szerint a földgáz opciók implicit volatilitását (IV) már 2021-ben, az inváziót megelőzően is jelentősen befolyásolták a geopolitikai feszültségek és az ellátási korlátok. Az elemzés rámutatott, hogy a piaci szereplők már a konfliktus kezdetét jelentősen megelőzően beárzták az Oroszország és Ukrajna közötti feszültségekből fakadó rendszerszintű kockázatokat. (Alessandri–Gazzani, 2023)

Az OptionMetrics kiegészítő megállapítása szerint a földgáz IV trendjei már 2021 végén eltértek más nyersanyagokétól, mivel a strukturális piaci egyensúlytalanságok (például alacsony tárolási szintek és LNG-exportkereslet) tartósan megemelték a volatilitást. Ez tartós kockázati prémiumot eredményezett az opciós piacokon, szemben a nyersolajjal és mezőgazdasági termékekkel, ahol az IV trendek korábban normalizálódtak. (OptionMetrics, 2022)

Strukturális piaci problémák

Az olaj-indexált szerződésekről az európai piacokon történő átállás központ-alapú árképzésre (pl. TTF) érzékenyebbé tette a piacokat a rövid távú kínálati sokkokra és globális LNG versenyre. Az LNG terminálok és Északnyugat-Európa vezetékes infrastruktúrájának fejlesztésének torlódása tovább korlátozta a kínálati rugalmasságot, fokozva az árversenyt a vásárlók között.

5.2.4. Az alkalmazott kockázatmérési technikák bemutatása

A kockázat számszerűsítése kiemelten fontos a pénzügyi döntések meghozatalakor, különös tekintettel a befektetések értékelésére. Ebben a fejezetben kiemelem a dolgozat során alkalmazott kockázatmérési technikákat a kari oktatás során Kockázatok Mérése és Kezelése kurzuson használt irodalmak egyikét alapul véve: Bugár, Gy. – Uzsoki, M. (2006): Befektetések kockázatának mérése. Statisztikai Szemle, 84.

1. Variancia

A variancia a hozamok átlagos értékétől való eltérésének négyzetes átlaga, amely a szóródás mértékét mutatja, és a modern portfólióelméletben Markowitz nevéhez köthető. Matematikailag így fejezhető ki:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2$$

Ahol X_i az egyes hozamok, μ a várható hozam, N pedig a megfigyelések számát jelöli. A variancia előnye, hogy jól alkalmazható a diverzifikáció modellezésére és analitikusan kezelhető portfóliók összeállításánál. Ugyanakkor hátránya, hogy a pozitív és negatív eltéréseket egyaránt figyelembe veszi, holott a befektetők főként a veszteségek elkerülésére törekednek.

2. Szemivariancia

A szemivariancia a variancia egyoldalú változata, amely kizárólag a negatív irányú hozameltérések szóródását vizsgálja. Képlete:

$$SV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \min(X_i - \mu, 0)^2$$

Ez a mutató kifejezetten azoknak a befektetőknek lehet hasznos, akik a kedvezőtlen hozamoktól tartanak. Ugyanakkor a szemivariancia számítása összetettebb, és a portfólióoptimalizálás során a nemlinearitás miatt nehezebben kezelhető.

3. Kockázatotott érték (VaR)

A VaR egy olyan abszolút kockázati mutató, amely megmutatja, hogy egy előre meghatározott megbízhatósági szinten (például 95%) és időhorizonton belül mekkora lehet a maximális veszteség. Formálisan:

$$\text{VaR} = \mu + \sigma \times z(\alpha)$$

A VaR előnye, hogy könnyen értelmezhető, azonban nem veszi figyelembe a VaR-t meghaladó veszteségeket, ami különösen vastagszélű eloszlások esetén a kockázat alulbecsléséhez vezethet.

4. Feltételes kockázatotott érték (CVaR)

A CVaR a VaR továbbfejlesztett változata, amely a VaR szintjénél nagyobb veszteségek átlagos értékét adja meg:

$$\text{CVaR} = \mu + \sigma \times \left(\frac{\phi(z(\alpha))}{\alpha} \right)$$

A CVaR előnye, hogy figyelembe veszi a szélsőséges veszteségeket is, így a farokrizikó mérésére is alkalmas. Emellett szubadditív tulajdonsága miatt stabilabb portfólióoptimalizálást tesz lehetővé, bár számítása összetettebb és több adatot igényel.

5.3. A görgetett ICE TTF front tenor Variancia (Variance, S²) analízise programmatikusan

A variancia egy statisztikai mérőszám, amely egy adathalmaz szórását jellemzi a középérték körül. Az adatok és az átlag közötti négyzetes eltérések átlagaként számítható ki. Matematikailag a mintabeli szórásból (s) származtatott variancia (s a négyzetten) a következőképpen is ki fejezhető:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2$$

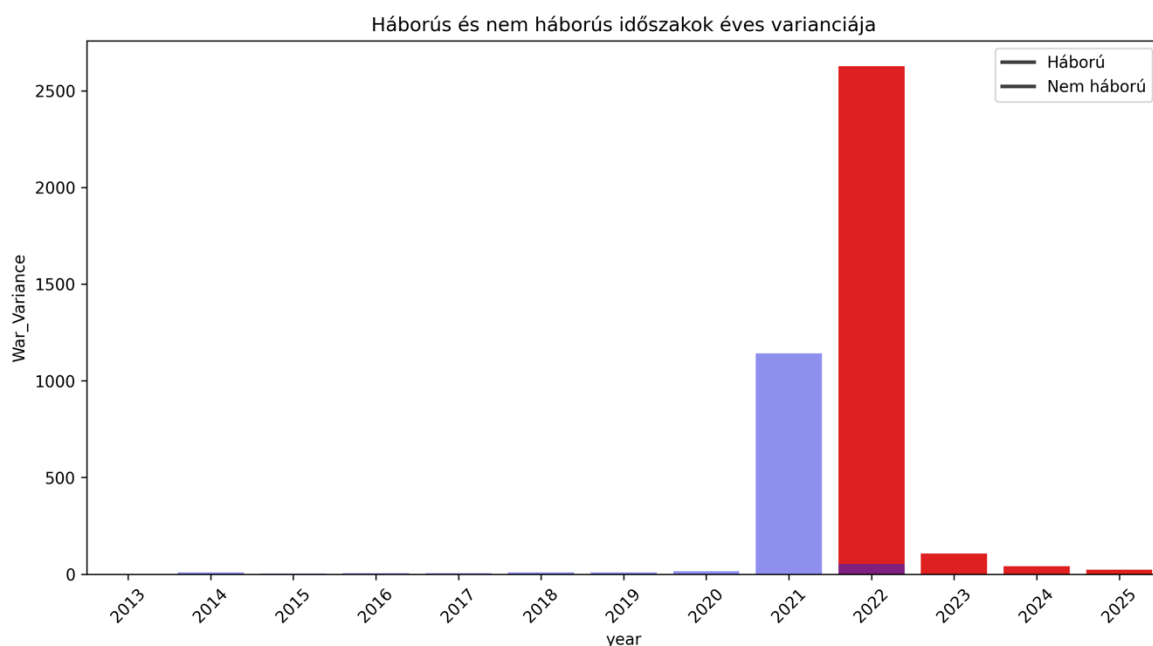
A szakirodalommal ellentétben nem hozamalapú varianciát alkalmazok, a hozamalapú rizikóbecslést meghagyom a magasabbröptű módszertanoknak mint a VaR és a CVaR.

Ellenben kreatívan a sokkhatást követő és tartalmazó évek annuális záróárvarianciájának normalitását fogom tesztelni, illetve mivel ebben az alfejezetben magát az idősort elemzem, az úgymond görgővarianciával volatilitás rezsimváltozásokat tervezek tetten érni, és megkísérelni a racionalizálásukat.

Az árfolyam idősoros elemzése során a variancia a volatilitás kulcsfontosságú mértéke, amely az árfluktuációk átlag körüli szóródását ragadja meg. Ez a mutató betekintést nyújt az eszköz inherens kockázatába és stabilitásába: a magasabb variancia nagyobb árkiszámíthatatlanságot és potenciális befektetési kockázatot jelez, míg az alacsonyabb variancia relatív stabilitásra utal.

A variancia kapcsán az alfejezetben szereplő vizualizációk a Variance.py scriptet lokálisan futtatva replikálhatóak amennyiben a szükséges csomagok telepítése megelőzően megtörtént, és a *local_dir_base* string változót a letöltött *Thesis_Risk* mappa lokációjára változtatjuk a konfigurációs fileban, az eredmények a *save_dir* string értéke által reprezentált lokációra lesznek mentve. Kiemelném hogy a variancia számításához a Pandas *.var()* képletét alkalmaztam.

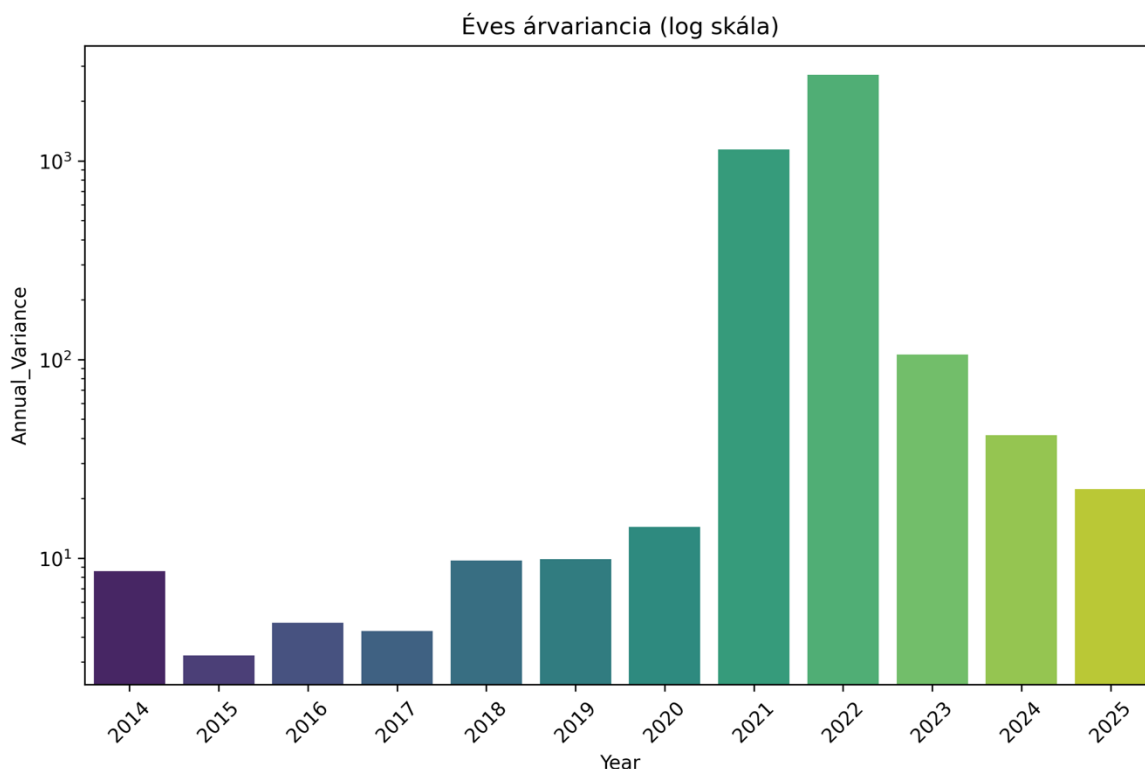
Elsőképp arról szerettem volna képet alkotni, hogy a variancia tekintetében megfigyelhető-e jelentős paradigmaváltás az inváziót megelőző, majdan az azt követő variancia tekintetében.



14. ábra: Annualizált lineáris TFN1! záróár variancia

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Variance.py

Szembeötlő, hogy a háborút megelőző variancia látványosan immateriális tartományokban mozog a konfliktustól datálható, alternatív színkóddal kódolt varianciához mérten. Habár már az ábra vizuális tanulmányozásával elvethetjük az esetünkben alkalmas statisztikai teszt, a Levene's Teszt nullipotézisát, azért kiszámolásra került. A Levene-teszt azt vizsgálja, hogy különböző csoportok varianciái megegyeznek-e, ezzel segítve a statisztikai elemzésekben a variancia homogenitásának feltételezését. A $p\text{-value} = 0.0000$ érték mellett elvetve a nullhipotézist, statisztikailag megalapozva kijelenthetjük, hogy az invázió kezdete óta a variancia szignifikánsan megváltozott (emelkedett), melyből egyenesen következtetve általánosíthatjuk, hogy a szektor minden aktorának a kockázata, legyen az bármily természetű, jelentősen növekedett. (Levene, H. , 1960)



15. ábra: Annualizált lineáris TFN! záróár logaritmikus variancia

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Variance.py

Az idősor megfigyeléseinek varianciájának annuális tanulmányozásának esetén ha szeretnénk a '21 és '22-es kiugráson túlmutató információértéket megjeleníteni, célszerű logaritmikus skálát alkalmazni. Jól kivehető, hogy egy hosszú, stabil periódus figyelhető meg az idősor kezdetétől 2020-ig, majd a 4.2-es fejezetben taglalt gyengeségek által instabilabbá tett piacot sokkolta a konfliktus kirobbanásának előjele 2021-ben, majd 2022 folyamán az így is extrémnek számító variancia nem csupán tartósnak bizonyult, hanem tovább tudott emelkedni! Az elkövetkezendő évek folyamán a variancia csökkenő tendenciát mutat, variancianormalitásteszt alapján 2025-ben vissza is tér a '21-es évet megelőző 'normálisnak' mondható tartomány határain belülre ugyanis Levene-teszt év változón iterált kiszámítása a Variance.py futtatásával megtörténik, és eredménye a terminálról leolvasható az következő oldalon található eredményekkel.

2023-as év variancián észlelt volatilitása szignifikánsan eltér ($p < 0.05$) a 2021 előtti időszakhoz képest (tesztstatisztika: 258.56, p-value: 0.0000).

2024-es év variancián észlelt volatilitása szintén szignifikánsan magasabb ($p < 0.05$) a 2021 előtti időszaknál (tesztstatisztika: 32.95, p-value: 0.0000).

2025-ös év variancián észlelt volatilitása nem mutat szignifikáns eltérést ($p = 0.4658$) a 2021 előtti időszakhoz képest.

Ezen megállapítást kiegészítve kiemelném, hogy habár statisztikai normalitást tekintve visszatértünk a konfliktust megelőző normába, de a vizsgált ICE TTF front tenor árszínvonala lényegesen magasabb mint a konfliktust megelőzően, mind a variancia is magasabb mint a kontrollperiódus bármely megfigyelhető elemének esetében, amely generikus gyengeség jele a piacon.

Az annuális varianciaadatoknál 'mélyebbre' nézhetünk, ha az idő dimenzió (x tengely) inkrementálását évesről napi gyakoriságra redukáljuk, és minden naphoz úgymond görgő varianciát rendelünk hozzá. A gördülő variancia egy statisztikai mérőszám, amely az időbeli adatváltozékonyságot vizsgálja egy meghatározott időablakon belül, például esetünkben 30 napos periódusonként. Ez lehetővé teszi az árak ingadozásának folyamatos nyomon követését, kiemelve azokat az időszakokat, amikor a volatilitásprofil jelentős változáson megy keresztül, például geopolitikai események vagy piaci sokkok hatására. Karaktere rendkívül hasonló a VIX-hez és a hasonló indexekhez, bár a VIX index opciók IV-jéből képezetes és jelent némi 'prediktív' alapot az árazásban realizálódó sokkokra ugyanis ennek okán a piaci várakozásokat reprezentálja, míg esetünkben a görgő variancia a realizált napi záróárakból kerül kiszámításra.

A gördülő variancia alkalmazása a földgázárak elemzésére, ahogyan azt a "Estimation of spatial boundaries with rolling variance and 2D KZA algorithm" (MedCrave, 2023) bemutatja, robusztus keretet biztosít a strukturális változások és volatilitási hajtóerők azonosítására. Azáltal, hogy dinamikusan számítja ki a lokalizált volatilitást állítható időablakokon (pl. 30 periódus) keresztül, ez a módszer elkülöníti a volatilitási klasztereket, amelyek geopolitikai sokkokhoz (pl. orosz szállítási megszakítások) vagy infrastrukturális zavarokhoz kapcsolódnak, így nagyobb részletességet kínál, mint a statikus modellek, például a GARCH. A KZA algoritmus integrálásával tovább lehetne növelni a zajállóságot, megkülönböztetve az átmeneti ingadozásokat (pl. spekulatív kereskedés) a rendszerszintű

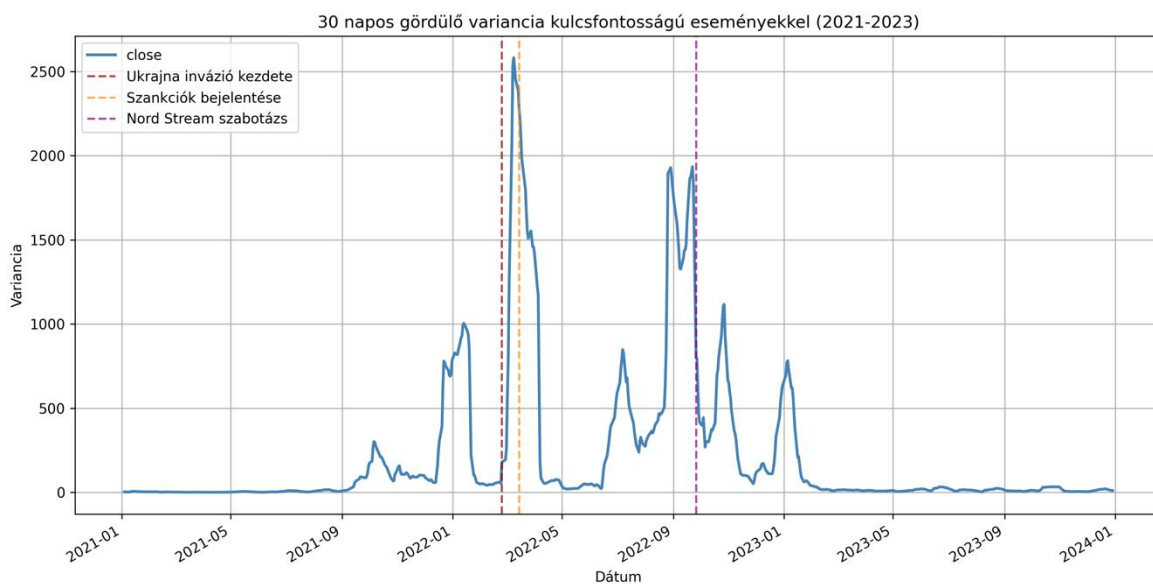
sokkaktól (pl. Nord Stream 1 megszakítások), a tanulmány szerint még akkor is, ha a zaj a jel amplitúdójának 50%-át teszi ki. Az adaptív ablakméretezés lehetővé teszi a több skálán történő elemzést: rövidebb ablakok (16 periódus) rögzítik az akut eseményeket, például hurrikánokat, míg hosszabb ablakok (49 periódus) feltárják a tartós trendeket, például a dekarbonizációs politika hatásait. A gördülő variancia továbbá vizualizálja a paraméter instabilitást a modellmaradékokban, feltárva azokat a strukturális töréseket ahol a történeti összefüggések összeomlanak – például az EU gáz- és olajárak 2022-es szétválása esetében. Ez a megközelítés javíthatja az előrejelzési pontosságot azáltal, hogy megjelöli azokat az időszakokat, amikor a hagyományos prediktorok (gáztározók telítettségi szintje) kudarcot vallanak, lehetővé téve valós idejű kockázatok integrálását gépi tanulási keretrendszerekbe. Az opciós piacokról származó implikált volatilitási mutatókkal kombinálva a gördülő szórás kritikus diagnosztikai eszközként szolgál, amely felülmúlja a hagyományos módszereket a turbulens időszakok okainak azonosításában.

Esetünkben az a kérdés merült fel bennem, hogy az általam ismert sokkok jól illeszkednek-e a jelentős varianciaingadozásokhoz? A válaszhoz létrehoztam egy 'nested dictionary' változót amelyben három eseményt jelöltem meg, az Orosz invázió kezdetét (2022-02-24), szaggatott barna vonallal, mely azonnali ellátási félelmeket okozott az Európai Unió által szankciók bejelentését narancssárga szaggatott vonallal ami 2022-03-15-re datálható és növelte a gázellátási bizonytalanságot, illetve a Nord Stream szabotázszt szaggatott lila vonallal mely 2022-09-26-én történt. A visszatekintési ablak tekintetében 30 napos periódusban találtam célszerűnek megragadni ugyanis az úgy egy havi visszanezés a cél, és az idősoros adatok tartalmazzák a hétfvégeket és az ünnepnapokat ahol rendre stale árakat fedezünk fel, amennyiben az adatsor tisztított lenne ezen megfigyeléseket, a visszatekintési ablakot 20-ra állítanám. Bárki, kinek igénye van megnézni más hozizontok esetén hogyan módosul az ábra, a *lookback_roll:int* integer változó módosítását követő Variance.py újra futtatásával alternálhatja az ábrát.

A lineáris skálán kiemelkedő 2021–2022-es periódust magas és kimagaslóan volatilis gördülő szórás jellemezte, amely rendszerszintű kockázatok tényszerű, drasztikus növekményét reprezentálja. A '21 szeptember és októberi növekményt a 4.2. alfejezetben taglalt rendszerszintű gyengeségek a future piacon árban realizált következményének tartom, és a '21-es év vége körüli 'spikeot' a háborús várakozás future piacon realizált következményének tartom. Jól látható hogy az igazi 'paradigmaváltás' az Ukrajnát ért invázió kezdetével indul úgy egy hónapon át tartó 'néma' várakozási periódust követően, és

a 30-as görgő variancia jól mutatja, hogy a szankciós csomag bejelentése indukálta bizonytalanság csökkenését amely realizálódik a földgázpiacon pár hetes laggot követően.

A '22-es tárgyév második felében a drasztikusan emelkedő árakra reagálva az EU olyan intézkedéseket vezetett be, mint a közös gázbeszerzés és az árplafonok, hogy stabilizálja a piaci árakat, de ezen erőfeszítések ellenére mind a volatilitás, mind a görgő variancia továbbra is magas maradt a szűk LNG-kínálat és a geopolitikai feszültségek okán.

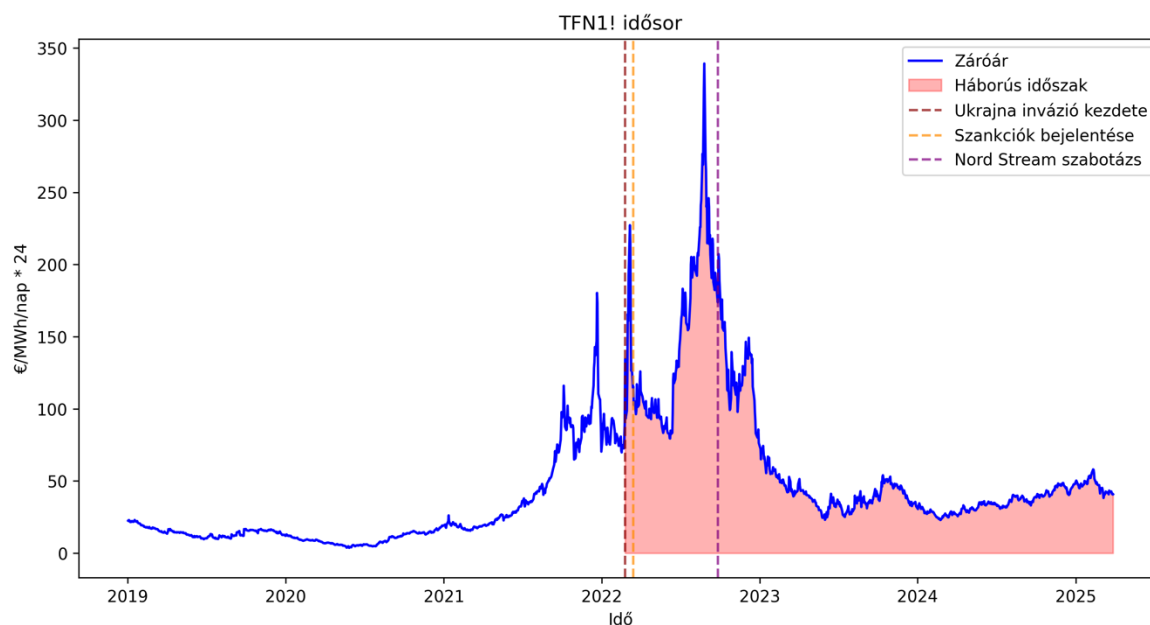


16. ábra: TFN1! 30 napos görgőcariancia

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Semi_Var.py

Egyetlen kulcseseményt tartok még fontosnak kiemelni az idősoron, mely a Nord Stream szabotázs. Jól látható hogy az esemény tökéletesen illeszkedik jelentően befolyásolja a varianciát, ám elsőre tán nem intuitívan egy 'peak' intuitív bal oldala helyett a jobb oldalán illeszkedik el és pont a variancia jelentős visszaesésének idejével egyezik. Ezt én úgy racionalizálom, hogy az eseményt megelőző télen a logisztikai limitációk okán fellépő piaci kínálat örökös rekord szintekre emelte a gázárakat az európai fölgázkereskedelem történelmét tekintve. 2022/2023-as téli időszakot Európában az átlagosnál melegebb hőmérsékletek jellemezték, ami jelentősen csökkentette a fűtési igényt, és 14%-os éves szintű gázfogyasztás-csökkenéshez vezetett. Olyan országokban, mint Olaszország és Németország, a fogyasztás 20%-kal, illetve 11%-kal esett vissza, miközben az enyhe időjárás az EU gázkereslet-csökkenésének körülbelül 35%-áért volt felelős. Ezek a kedvező időjárási körülmények (és az EU-s intézkedések) hozzájárultak stabilizálásához egy olyan

időszakban, amikor a geopolitikai feszültségek és az emelkedett árak miatt a piac különösen érzékeny volt. Ennek ellenére a szűk LNG-kínálat és az ellátási bizonytalanság továbbra is fenntartotta a piaci volatilitást. A téli időszak részletes elemzése megtalálható az ENTSOG Winter Supply Review 2022-23 című jelentésében.



17. ábra: TFN1! idősor

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Variance.py

Mind a volatilitás, mind a variancia drasztikus növekménye nem csupán hirtelen árnövekmény okán keletkezhet, hanem esés okán is, és helytálló esetünkben a magyar szállóige miszerint magasról lehet igazán nagyot esni. Nordstream szabotázs okán indukált rizikónövekmény kvázi „elkapta” a kedvező bear faktorok, és a piaci szereplők pánikszerű bevásárlási lázának elmúltá által indukált drasztikus esést, és az év hátralevő részére a bull és a bear nyomás kiegyenlítődni látszik és hozzávetőlegesen a 100€ - 145€ / MWh /nap tartományban.

5.4. Szemivariancia (Semi-Variance, SV)

A félvariancia (szemivariancia) koncepciója a variancia mint kockázati mérőszám egy lényeges hiányosságát orvosolja. Míg a hagyományos variancia az átlagtól való minden eltérést egyformán kezeli, addig a félvariancia kizárólag a negatív irányú kilengésekre összpontosít. Ez a megközelítés jobban tükrözi a befektetői szemléletet, hiszen a várható érték feletti hozamokat általában nem tekintik kockázatnak. A félvariancia számításakor tehát csak az átlag alatti értékeket vesszük figyelembe, így pontosabb képet kaphatunk a tényleges downside kockázatról.

A short vanilla rizikóprofil kiválasztásának indoklása

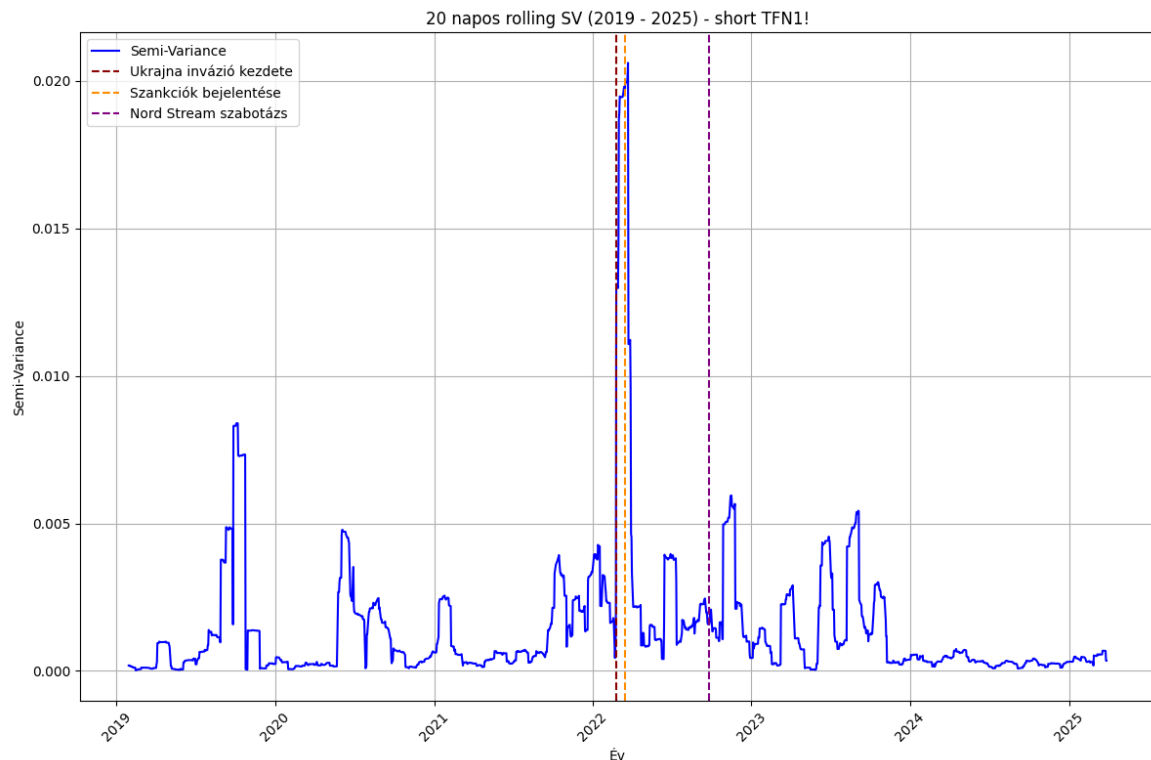
Gyakorlati tapasztalataimat alapul véve megemlíteném, hogy számos SV-t említő tanulmány hiányossága, vagy inkább szándékos teoretikus egyszerűsítésre, hogy az SV megállapításakor rendre az idő dimenzióban sorbarendezett theta inkrementumonként megfigyelhető relativisztikus hozam megfigyeléseket veszik alapul automatikusan vanilla long pozíciót feltételezve! Ellenben a módszer helyes alkalmazásához a vizsgált 'szemszög' meghatározása és modellezése meg kell hogy előzze a számítások elvégzését! Példának okán egy short vanilla pozíció esetében mérlegeljük a termék rizikóját ahol a pozíciónk hozamértékei az ár tekintetében inverz értékeket vesznek fel a hozammegfigyelések esetén a megszokott long vanilla pozíciókhoz viszonyítva, és egy long vanilla pozíciót feltételező hozamok alapján meghatározott SV helytelenül fogja reprezentálni a downside rizikót. De nem csak irány tekintetében térhetnek el rizikóprofilok a long vanilla helyzetétől, hanem exotikus derivatívák esetében a hozamgörbe elveszíti lineáris jellegét! Ennek okán habár az SV módszertana kifejezetten egyszerűnek hat, ipari szintű derivatív portfóliók esetében már a helyes hozamprofil megállapítása, és az SV visszatekintési horizontjának kalibrálása is egy kifejezetten bonyolult kérdéskörnek bizonyulhat.

Az SV kiszámításhoz short vanilla rizikóprofilot választottam ugyanis mind a gazdaság egésze, mind a legtöbb szereplője gyakorlatilag short a földgázon, csak rendre indirekt módon, ha nem is használ fel földgázt, az áramtermelés jelentős része Európában földgáz alapú, és ha nem is direkt egy short future birtoklása okán, de az energiaáremelkedésen keresztül negatívan hat a többség vagyoni helyzetére a költségnövekmények okán. A short pozíció alkalmazása a félvariancia-analízisben empirikusan alátámasztható az energiaár-sokkok aszimmetrikus gazdasági hatásainak következtében, amelyek különösen az energiaigényes

európai iparágakat érintik, ahol a gázárak emelkedése közvetlenül csökkenti a jövedelmezőséget a termelési költségek növekedése és a globális versenyképességi hátrányok révén.

Az energiaár-sokkok régóta jelentős makrogazdasági instabilitás kiváltójaként ismertek, amit számos tudományos kutatás is alátámaszt. Kilian (2008) alapvető elemzést nyújt a *Journal of Economic Literature* hasábjain, amelyben kimutatja, hogy az energiaellátás zavarai szisztematikusan csökkentik a reál GDP növekedését és növelik az inflációt az ellátási láncok megszakadásán és a fogyasztói kiadások visszaesésén keresztül. Ez a kapcsolat azért alakul ki, mert az energiaár-emelkedések adóként hatnak a háztartásokra és vállalatokra, elvonva a kiadásokat az alapvető energiafogyasztás irányába, miközben csökkentik a diszkrécionális költségeket. Az aszimmetrikus hatások különösen figyelemre méltóak: míg az olajár-emelkedések erősen összefüggnek recessziókkal, az árcsökkenések nem ösztönzik ugyanolyan mértékben a gazdasági növekedést a késleltetett beruházások és munkaerőpiaci merevségek miatt. Bernanke és munkatársai (1997) továbbá azt állapították meg, hogy a sokk utáni kibocsátáscsökkenés körülbelül kétharmada a monetáris politika szigorításának tudható be, mivel a központi bankok válaszolnak az energia által vezérelt költséginflációs nyomásra.

A 2022-es orosz-ukrán konfliktus élesen példázza ezeket a mechanizmusokat a földgázpiacok kontextusában. Minjie és társai (2023) difference-in-differences módszertan alkalmazásával számszerűsítették a konfliktus hatását, kimutatva, hogy az európai Title Transfer Facility (TTF) gázárak három hónapon belül 32%-kal emelkedtek az invázió előtti trendekhez képest, tartós hatással az ipari termelésre. Ez a sokk megzavarta az európai gyártási szektort, amelynek energia-költségei meghaladták az üzemeltetési költségek 20%-át, ami termeléscsökkentésekhez vezetett az energiaigényes iparágakban, például a vegyiparban és fémiparban. Az árrobbanás továbbgyűrűzött a fogyasztói piacokra is, 2022 közepére az euróövezet HICP inflációját becslések szerint 6 százalékponttal növelve, amelyből 40% közvetlenül az energiaárak áthárításának tudható be. Ellenképes elemzések szerint összehangolt LNG-import és stratégiai gáztárolói készletfelhasználás nélkül az EU ipari kibocsátása 2022–2023 telén 15-20%-kal zsugorodott volna. Ezek az eredmények összhangban állnak Auclert et al. (2023) elméleti modelljeivel, amelyek szerint kezeletlen energiapiaci sokkok még laza monetáris politika mellett is 4–6%-kal csökkentik a reálbéreket, mivel rövid távon rugalmatlan kereslet mutatkozik a fűtésre és villamos energiára.



18. ábra: TFN1! idősor görgő SV (20 napos ablak)

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/Semi_Var.py

A félszórás metrika különböző volatilitási rezsimeket mutat, különösen éles növekedésekkel geopolitikai válságok idején. Az alap félszórás (2019-2021) 0,001 alatt maradt, ami stabil piaci körülményekre utal, míg 2022-ben rendkívüli növekedések figyelhetők meg: a kezdeti inváziós fázisban 0,003-0,004 értéket, a Nord Stream szabotázs idején pedig 0,00214-es csúcsot értek el. Az eseményvezérelt volatilitás azt mutatja, hogy az orosz invázió (2022-02-24) azonnali 3-4-szeres növekedést váltott ki a félszórásban (0,0006 \rightarrow 0,002-0,003), ami a piaci pánikot tükrözte a kínálati zavarok miatt. A szankciók bejelentése (2022-03-15) magasabb volatilitást eredményezett (félszórás $>$ 0,002), ami a tartós bizonytalanságra utalt, míg a Nord Stream szabotázs (2022-09-26) a legmagasabb értéket hozta (0,00214), ami extrém lefelé irányuló kockázatrealizálódást mutat. Strukturálisan a 2022 utáni piacok magasabb alapvolatilitást mutatnak (0,0005-0,001) a válság előtti szintekhez képest, ami a kockázatpercepció tartós változására utal, és ennek korai jelei már a 2021-es energiaválságban is megfigyelhetők voltak (a félszórás 0,0009-re emelkedett).

Módszertanilag a 20 napos gördülő ablak hatékonyan rögzíti a rövid távú volatilitási klasztereket, miközben kiszűri a zajt, és a lefelé irányuló hozamokra fókuszált megközelítésével valódi félszórás-mérést biztosít. Az adatok leptokurtikus tulajdonságokat mutatnak volatilitási klaszterekkel, ahol a félszórás sikeresen izolálja a lefelé irányuló kockázatot – különösen fontos ez az energapiacok számára, ahol aszimmetrikus árnövekedések fordulhatnak elő.

Az elemzés három piaci fázist mutat:

A válság előtti időszak (2019-2021), ahol a félszórás 0,0005 alatt volt, és csak kisebb, COVID-hoz kapcsolódó növekmények figyelhetők meg;

A válság időszaka (2022), amikor az SV 5-10-szeresére nőtt, és strukturális töréspontok jelentkeztek geopolitikai események hatására;

A válság utáni átállás (2023-2025), ahol a volatilitás továbbra is magas marad, ami a kínálati sokk iránti folyamatos érzékenységet és az európai gázpiacok valószínűleg tartósan átszabott kockázatarázátát tükrözi.

5.5. Value at Risk (VaR) és Conditional Value at Risk (CVaR)

Az elmúlt évek geopolitikai eseményei jelentős hatást gyakoroltak az energapiacokra, különösen a földgáz szektorban, ahol a piaci volatilitás és a szélsőséges árváltozások gyakorisága megnövekedett. A kockázatkezelés szempontjából kiemelt jelentőségű a Value-at-Risk (VaR) és a Conditional Value-at-Risk (CVaR) metrikák megfelelő alkalmazása és értelmezése, különösen a szélsőséges piaci körülmények között.

Módszertan és adatok

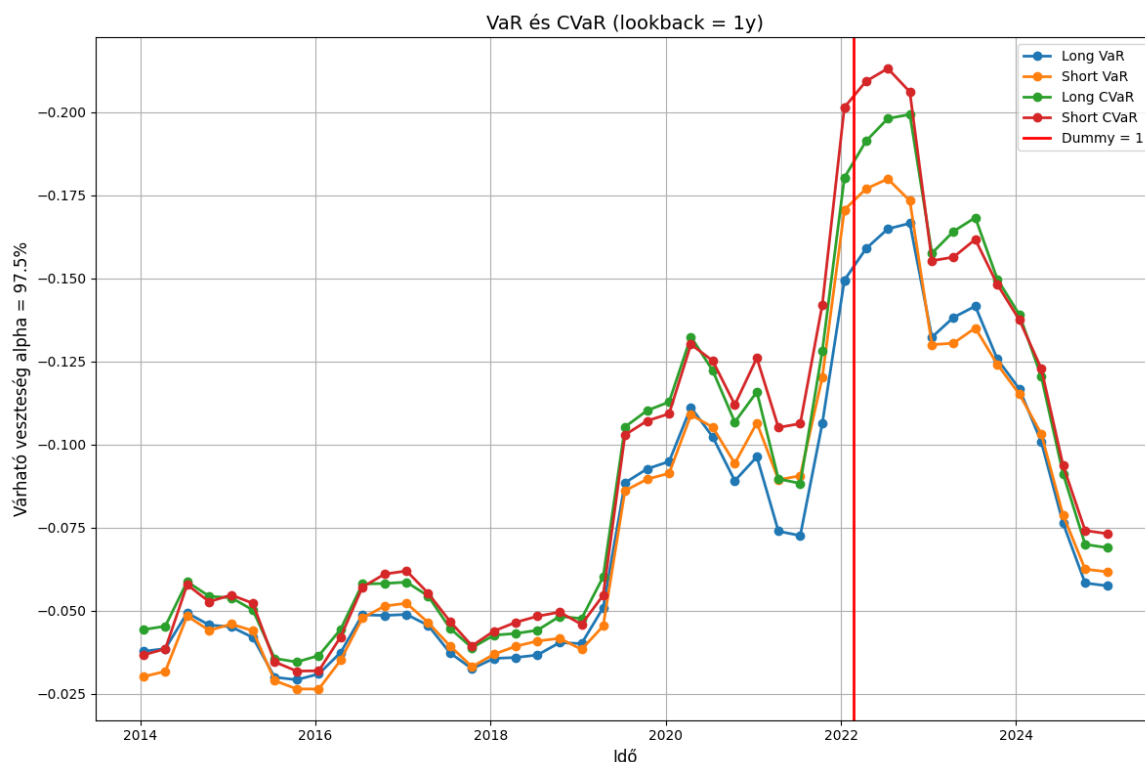
Az elemzésünk az ICE TTF földgáz egy hónapos határidős kontraktusainak árfolyamadatain alapul, normál eloszlást feltételező paraméteres megközelítéssel. A VaR a potenciális veszteség mértékét mutatja egy adott konfidencia-szinten (esetünkben 97,5%), míg a CVaR a VaR küszöbértékét meghaladó veszteségek várható értékét reprezentálja. A kockázati metrikákat mind hosszú (long), mind rövid (short) pozíciókra kiszámítottam, két különböző visszatekintési időablakkal: 12 hónap (4 negyedév) és 3 hónap.

A számításaink során a normál eloszlású hozamok feltételezésével az alábbi képleteket alkalmaztam:

$$\text{VaR} = \mu + \sigma \times z(\alpha)$$

$$\text{CVaR} = \mu + \sigma \times (\varphi(z(\alpha))/\alpha)$$

ahol μ a hozamok átlaga, σ a szórás, $z(\alpha)$ a standard normális eloszlás α -kvantilise, és φ a standard normális sűrűségfüggvény.



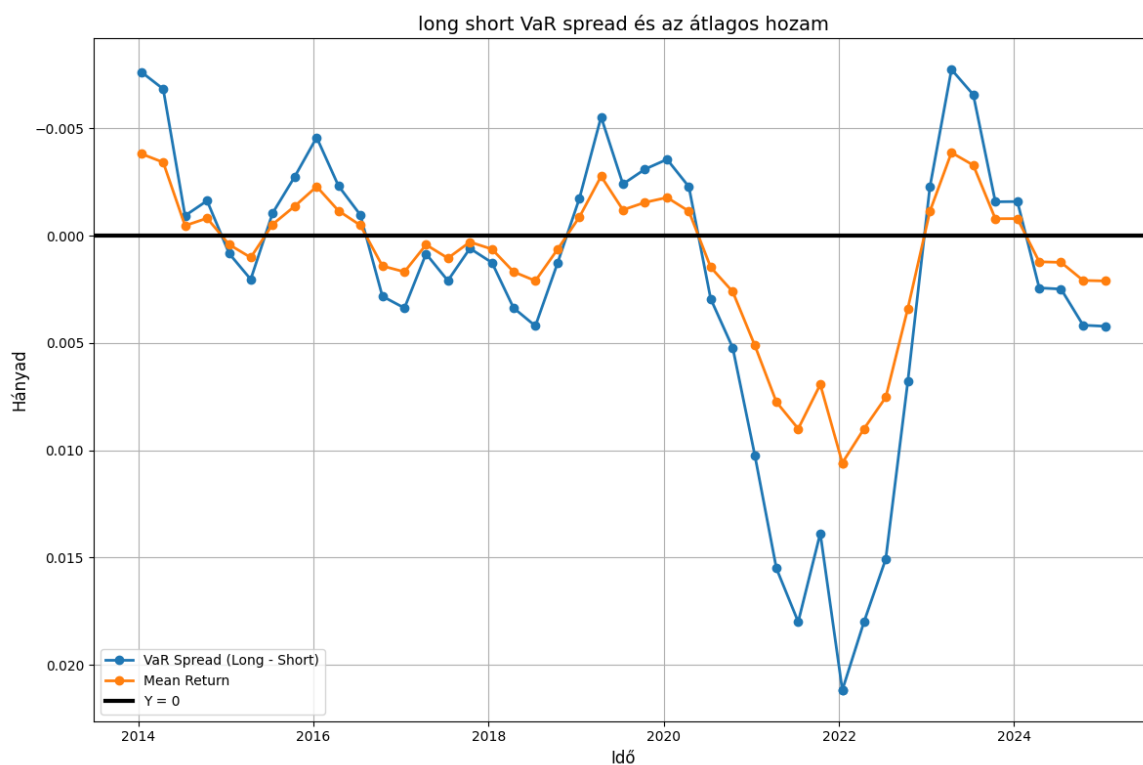
19. ábra: TFN1! VaR és CVaR 3 havi frekvencia long és short kitettség esetében, ablak = 1y

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/VaR_CVaR.py

A 19.ábrán látható eredmények markáns aszimmetriát mutatnak a long és short pozíciók kockázati metrikái között, különösen a 2022-es időszakban. Ez összhangban van Westgaard és munkatársai (2014) megállapításaival, miszerint az európai energiapiacokon - különösen a földgáz esetében - a 'fat tail' kockázat jelentősen magasabb, mint a hagyományos eszközök esetében.

A long és short VaR értékek közötti különbség (VaR spread) különösen informatív, és azért kerül kiemelésre mert módszertanilag a CVaR a VaR-ra épül, ellenben a VaR esetében könnyebben szemléltethető a dinamika mozgatórugója. Megfigyelhetjük, hogy a VaR spread által mért különbség arányos a parametrikus becsléshez alkalmazott átlagos hozam kétszeresével. A long (vanilla) VaR és short (vanilla) VaR az idősoros hozamok kiszámításának metódusában különbözik meg, mégpedig ugyanazon szórás alkalmas input változóként a parametrikus becsléshez, ellenben a hozamátlag tekintetében egymás inverzei.

Figyeljük meg hogy a spread által mért különbség korrelál a variancia mértékével, és kiugróan jelentős növekményt mutat, úgymond 'kinyílik' amennyiben a materiális volatilitás a napi hozamok direkcionális összhangjával együttesen jelenik meg, pongyolán fogalmazva az ár 'esik' vagy 'hasít'. Kiemelném, hogy a jelentős energetikai sokkok rende ezt a viselkedést indukálják.



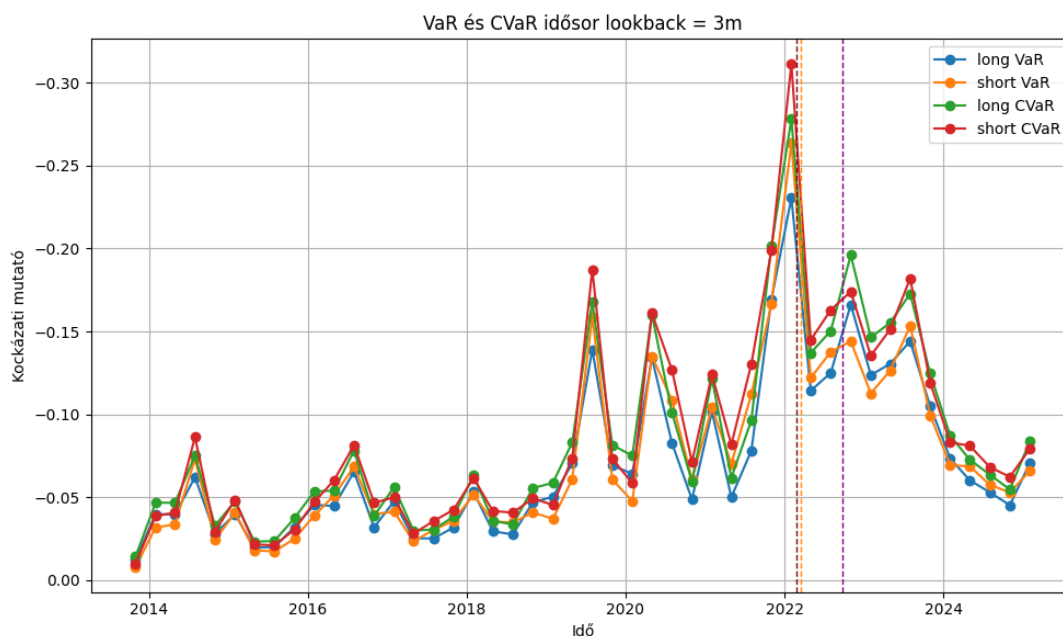
20. ábra: Vanilla Long és Short hozam VaR spread

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/VaR_CVaR.py

Következésképpen az ha egy piaci aktor long vagy short hozamok alapján határozza meg a VaR-t vagy a CVaR-t, nem jelent strukturálisan jelentős különbséget normál esetben, kivéve ha jelentős áttétellel jellemezhető derivatív pozíciók kapcsán merül fel a kérdéskör, és a gazdálkodó egyén vagy egység likviditásához mérten indikatív nominális veszteség jelentős tételként jelenik meg, és fennáll a fizetéseképtelenség veszélye. Ellenben sokkhatások esetén jelentős asszimetria jelenik meg!

Visszatekintési ablak hatása a kockázati metrikákra

A 3 hónapos visszatekintési ablakkal végzett számítások több szempontból is előnyösnek bizonyultak, különösen a 2022-es geopolitikai események idején, amikor a földgáz piacon jelentős áremelkedés és szélsőséges volatilitás volt tapasztalható. A rövidebb időablak alkalmazása lehetővé teszi a közelmúltbeli piaci sokkok hatásainak gyorsabb beépülését a kockázati metrikákba, továbbá a hosszú távú átlagok "elmosó hatásának" elkerülését extrém piaci helyzetekben. A rövidebb visszatekintési ablak a kockázati metrikák érzékenyebb alkalmazkodását teszik lehetővé a gyorsan változó piaci környezethez a gázpiaci árazás esetében kiszámításra került értékek alapján. Ez összhangban van Chan és Gray (2006) megállapításaival, akik kimutatták, hogy a hagyományos kockázati modellek gyakran nem megfelelőek a volatilis energiapiacok esetében, különösen szélsőséges események során.



21. ábra: TFN1! VaR és CVaR 3 havi frekvencia, ablak = 3,

Forrás: https://github.com/bencebaumann/1st-project/blob/main/Thesis_Risk/VaR_CVaR_lookback_3m.py

Geopolitikai kockázatok és piaci rikizó

Az adatok egyértelműen mutatják a 2022 februárjában kezdődött geopolitikai válság hatását a földgázpiaci kockázatokra. A CVaR értékek jelentősen meghaladták a VaR értékeket ebben az időszakban, ami egyrészt számítástanilag indokolt, másrészt mutatja hogy extrém események esetében a CVaR jelentősen konzervatívabb becslést mutat ugyanazon paraméterek esetén. A bekövetkezett extrém események valóban meghaladták a VaR által projektált veszteségeket.

A geopolitikai kockázatok piaci hatásainak elemzése során megfigyelhetjük, hogy ezek aszimmetrikusan hatnak az energiapiac bal és jobb oldali 'tail risk' kockázataira, ahogy azt a "Spillover effects of geopolitical risks on global energy markets" tanulmány is megerősíti. Az ottani eredmények szerint amikor a globális geopolitikai kockázat 1%-kal nő, a holland földgázpiac bal oldali tail-kockázata ($Var_{0.05}$) 0,113%-kal csökken, míg a jobb oldali tail-kockázat ($Var_{0.95}$) 0,097%-kal nő.

Elemzésem megerősíti, hogy a földgázpi és tágabb értelemben véve energetikai piaci termékek esetében különösen fontos a kockázati metrikák megfelelő megválasztása sokkhatások esetében és a visszatekintési időablak körültekintő beállítása. A CVaR használata a VaR mellett teljesebb képet ad a tail-kockázatokról, különösen volatilis piaci körülmények között, és kardinális hogy egy helyesen megválasztott rizikóprofil alapján legyenek a hozamok képezve, ugyanis a képezetes hozamok direkt hatással vannak az eszköz rizikó metrikákra.

A rövidebb (3 hónapos) visszatekintési ablak előnyösebb szélsőséges piaci események során, mivel gyorsabban képes reagálni a megváltozott piaci viszonyokra, és realisabb kockázatbecslést nyújt olyan időszakokban, amikor a korábbi piaci minták érvényességüket veszítik, viszont a felvett értékek számottevően volatilisabb képet alkotnak az annuális visszatekintési ablakkal szemben, mindek okán nagyvállalati használata vonzalmát veszti ugyanis amennyiben cashflowk és likviditási tartalékok középtávon rövid visszatekintéssel kalibrált VaR és CVaR alapján terveződnek jelentős likviditásprémium kerülne meghatározásra.

A geopolitikai események és az energiapiacok közötti kapcsolat további vizsgálata szükséges a kockázati modellek finomításához, különös tekintettel a strukturális törésekre és a farok-kockázatok modellezésére.

6. AZ EURÓPAI ENERGIAPIAC KOCKÁZATKEZELÉSI KÖVETELMÉNYEI

Az európai energiapiacra, különösen a földgázkereskedelem területén, a kockázatkezelési követelmények jelentősen fejlődtek, különösen az Oroszország ukrajnai inváziója utáni piaci volatilitás következtében.

6.1.1. A VaR és CVaR szabályozási standardjai

Az EU áttért a VaR használatáról a Feltételes Kockázatosított Érték (Conditional Value-at-Risk, CVaR), más néven Expected Shortfall használatára, mint elsődleges kockázati mutató a piaci kockázat értékelésére. A Bázeli III keretrendszer alapján, amelyet a Kereskedési Könyv Alapvető Felülvizsgálata (FRTB) révén vezettek be, "a piaci kockázatot a Feltételes Kockázatosított Érték (CVaR) vagy Expected Shortfall segítségével mérik, 97,5%-os konfidenciaszint mellett" (Basel Committee on Banking Supervision, 2019, p. 5.). Ez jelentős változást jelent a korábbi szabályozási standardhoz képest, amely körülbelül 20 évig a 99%-os konfidenciaszintű VaR-t használta.

6.1.2. Kalibrációs paraméterek

CVaR modellek ajánlott kalibrálásához a földgázpiacokon:

Konfidenciaszint: A szabályozási standard **97,5%** a CVaR számításokhoz

Visszatekintési időszak: A szabályozási standardok általában legalább 252 kereskedési napot (körülbelül egy év kereskedési adatait) követelnek meg, mint standard visszatekintési időszakot a szabályozási számításokhoz

Eloszlási feltételezések: A standard normális eloszlás feltételezése általában nem megfelelő olyan energiapiacok esetében, mint a földgáz, mivel "még intenzívebb jeleit mutatják a ferdeségnek és csúcsosságnak, mint a pénzügyi termékek túlnyomó többsége" (Westgaard et al., 2011, p. 8.).

A kutatások azt mutatják, hogy a normális hozameloszlás feltételezése "nagy valószínűséggel olyan VaR számításokat eredményez, amelyek jelentősen alábecsülik a

potenciális veszteséget" az energiapiacokon. Ehelyett kifinomultabb megközelítések, mint például a kvantilis regressziós (QR) modellek bizonyultak "könnyen megvalósíthatónak és pontos VaR előrejelzéseket kínálnak az európai energiapiacra".

6.1.3. Földgázkereskedési megfontolások

Az európai földgázszármazékos piac jelentős, 2022-ben 4150 milliárd eurós éves forgalmat ért el, az EU partnerek nyitott pozíciói pedig körülbelül 500 milliárd euróra rúgtak. Ennek a piacnak különleges jellemzői vannak, amelyek különös figyelmet igényelnek a kockázati mutatók bevezetésekor:

Magas piaci koncentráció a clearingben és a kereskedésben aktív résztvevők között

Bizonyos tevékenységek elmozdulása a tőzsdei kereskedésből a tőzsdén kívüli származtatott ügyletek felé, ami aggályokat vet fel a "korlátozottabb átláthatóság és egyedibb margin és fedezeti követelmények miatt" (European Commission, 2023, p. 12.)

Jelentős a volatilitási potenciál sok éves lappangás után is, amint azt a 2022-es energiaválság is bizonyította. Az Európai Bankhatóság (EBA) végrehajtási technikai standardokat (ITS) adott ki, amelyek módosítják a piaci kockázatra vonatkozó jelentéstételi követelményeket. Ezek a változások magukban foglalják "a Kereskedési Könyv Alapvető Felülvizsgálata (FRTB) jelentéstételi keretrendszerének kibővítését" az alábbiakkal:

Új sablonok az Alternatív Standardizált Megközelítéshez (ASA)

További jelentéstétel az alternatív belső modell megközelítéshez (AIMA)

Várható alkalmazási dátum: 2025. március 31.

Ezenkívül az Európai Bizottság konzultációt folytatott a gázszármazékos piacok felügyeletének szigorításáról tiszta ipari megállapodás stratégiájának részeként, amely "különböző pozíciós limiteket vezethet be a fizikailag teljesített és a készpénzben teljesített derivatívákra" (European Commission, 2023, p. 12.).

Likviditási követelmények és szankciók

Az Európai Értékpapír-piaci Hatóság (ESMA) "a likviditási és koncentrációs kockázatokat azonosította a fő sebezhetőségek között" a földgázszármazékos piacokon. Az iparági szövetségek aggodalmuknak adtak hangot amiatt, hogy a széles körű pozíciós limitek

bevezetése "jelentősen csökkentheti a piaci likviditást és megnehezítheti a vállalatok számára a kockázatkezelést" (EFET, 2024, p. 3.).

A kockázattudatos piaci clearing stratégia megvalósításakor a kutatások azt mutatják, hogy a CVaR használatával hatékonyan értékelhető "a magas visszaterhelési költségek kockázata a megújuló energia téves (túl) becslése okán". Ez a megközelítés hasonlóan alkalmazható a földgázpiacokra is, hogy egyensúlyba hozza a kockázatkezelést a megfelelő piaci likviditással.

A visszaterhelés (re-dispatching) a villamosenergia-rendszer rövid távú beavatkozásait jelenti, amikor a hálózatüzemeltetők módosítják az eredetileg tervezett villamosenergia-termelést a hálózati torlódások megelőzése és a rendszer stabilitásának fenntartása érdekében. Ezek a beavatkozások jelentős költségeket eredményeznek, amelyek végső soron befolyásolják a fogyasztók által fizetett energiaárakat.

A visszaterhelés akkor válik szükségessé, amikor a villamosenergia-átviteli hálózat fizikai korlátai megakadályozzák, hogy az áram optimálisan áramoljon a termelési forrásoktól a fogyasztási területek felé. Például, amikor Németország északi részén található szélerőművek túltermelnek, de a déli ipari régiókba nem lehet elegendő villamos energiát szállítani a korlátozott átviteli kapacitás miatt.

A REMIT II (A nagykereskedelmi energiapiacok piaci manipuláció elleni uniós védelme javításáról szóló rendelet) 2024. május 7-i közelmúltbeli végrehajtása "új kötelezettségek sorát rója a piaci résztvevőkre" a villamos energia, gáz és LNG nagykereskedelmi piacain, amely tovább befolyásolhatja a likviditáskezelési követelményeket (URE, 2024). Kiemelném, hogy a piaci szereplőknek jelentési kötelezettségük van újonnan a tárolási szerződésekről, a kiegyenlítő piacokról, a kiosztott átviteli kapacitásokról, valamint számos olyan termékről, amelyek potenciálisan az EU-n belüli szállítást eredményezhetnek.

7. ÖSSZEGZÉS

A földgáz továbbra is meghatározó szerepet tölt be az európai és a magyar energiamixben, ám az invázió következtében jelentős átrendeződés indult meg. Magyarországon az atomenergia dominanciája mellett a földgáz részaránya csökken, a napenergia pedig dinamikusan növekszik, ami az energiaellátás diverzifikációját és a dekarbonizációs törekvések előretörését tükrözi.

Az európai gázpiac szerkezete jelentősen átalakult: a holland TTF központi szerepe tovább erősödött, míg a magyar MGP továbbra is alacsony likviditású, fejletlen piac maradt, amelyet az orosz importfüggőség és az infrastruktúra korlátai is súlyosbítanak.

A globális földgázkereskedelemben 2021–2023 között paradigmaváltás zajlott le: az LNG import jelentősége nőtt, az orosz vezetékes gáz szerepe csökkent, míg Norvégia és az Egyesült Államok súlya nőtt az európai ellátásban.

A szankciók paradox módon nem gyengítették érdemben Oroszország gázbevételeit, mivel a volumencsökkenést az árrobbanás kompenzálta. Az alternatív beszerzési források kiépítése csak részben tudta ellensúlyozni az orosz import kiesését, így az európai piac továbbra is érzékeny maradt a kínálati sokkokra.

Az ICE TTF front tenor határidős kontraktusok idősoros elemzése kimutatta, hogy az inváziót követően az árszint és a volatilitás drámaian emelkedett, és a piac hosszú távon is magasabb kockázati szinteken stabilizálódott. A variancia, szemivariancia, VaR és CVaR mutatók mind jelentős rizikónövekedést jeleztek, különösen a konfliktus és a szankciók bejelentése után. A kockázatkezelési gyakorlatok szabályozásának terén a közelmúltban jelentős változás történt: az EU szabályozásban a VaR helyett a CVaR vált elsődleges mutatóvá, amely jobban képes kezelni a szélsőséges piaci eseményekből eredő veszteségeket. A rövidebb visszatekintési ablakok alkalmazása érzékenyebb kockázatbecslést tesz lehetővé volatilis időszakokban, de nagyvállalati tervezésben továbbra is hosszabb ablakhorizont a preferencia.

Az energiapiaci kockázatok szerkezete aszimmetrikus: a kínálati sokkok jellemzően hirtelen áremelkedéseket okoznak, míg az árcsökkenések ritkán járnak hasonló mértékű piaci turbulenciával. Ez a fizikai és logisztikai sajátosságokból, valamint a kereslet rugalmatlanságából fakad.

Az orosz invázió által kiváltott energetikai sokk nem csupán rövid távú piaci turbulenciát okozott, hanem tartós szerkezeti változásokat is indukált az európai gázpiacon. A földgázpiac kockázati profilja hosszú távon is megváltozott, a szektor minden szereplője számára megnövekedett rizikóval kell számolni.

Magyarország energiaellátásának diverzifikációja és a megújulóknak térnyerése mérsékli a földgáz kitettséget, azonban a hálózati stabilitás és a rugalmasság biztosítása érdekében a földgáz továbbra is nélkülözhetetlen marad a következő években. Az európai energiapiacok integrációja és a likvid, transzparens kereskedelmi központok fejlesztése kulcsfontosságú a jövőbeli ellátásbiztonság és kockázatkezelés szempontjából.

A magyar piac fejlődéséhez elengedhetetlen az infrastruktúra bővítése, a piaci liberalizáció és az ellátási források diverzifikációja. A kockázatkezelési módszerek fejlődése – különösen a CVaR regulátori adoptálása – hozzájárul a pénzügyi stabilitás erősítéséhez, de a modellek továbbfejlesztése szükséges a szélsőséges események és a strukturális törések pontosabb becsléséhez. A jövőben a geopolitikai kockázatok, a klímapolitikai célok és a technológiai innovációk együttesen alakítják majd az európai és magyar gázpiacot.

A szakdolgozat eredményei alapján a piac szereplőinek fel kell készülniük a tartósan magasabb kockázati szintekre, és a stratégiai rugalmasság, valamint a gyors alkalmazkodóképesség válik a siker kulcsává. A megismert tényadatok, és források rávilágítottak arra, hogy a földgázpiac jövője a geopolitikai, gazdasági és technológiai tényezők összjátékán múlik, és a kockázatok tudatos kezelése, a diverzifikáció és a szabályozási innovációk lesznek a fenntartható energiaellátás zálogai.

IRODALOMJEGYZÉK

Agfajrina (2022). Implications Of Economic Sanctions On Potential Crude Oil And Natural Gas Prices For Russia. Journal of Political and International Studies, Volume 3(2), pp. 45-67.

Alessandri, P. – Gazzani, A. (2023): Natural Gas and the Macroeconomy: Not All Energy Shocks Are Alike. Banca d'Italia Temi di Discussione (Working Papers) No. 1428, November 2023. Elérhető: https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/temi-discussione/2023/2023-1428/en_tema_1428.pdf

Auclert, A. et al. (2023): "Managing an Energy Shock: Fiscal and Monetary Policy." Proceedings of the XXV Annual Conference of the Central Bank of Chile. https://web.stanford.edu/~aaucclert/ha_energy.pdf

Basel Committee on Banking Supervision (2019): Minimum capital requirements for market risk. Bank for International Settlements, Basel, pp. 1-50.

Bernanke, B. S. et al. (1997): "Systematic Monetary Policy and the Effects of Oil Price Shocks." Brookings Papers on Economic Activity, 1997(1), 91–157. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/1997/01/1997a_bpea_bernanke_gertler_watson_sims_friedman.pdf

Britannica ProCon.org (2025). Alternative Energy | Pros & Cons.

Bugár, Gy. – Uzsoki, M. (2006): Befektetések kockázatának mérése. Statisztikai Szemle, 84. évf. 9. sz. 877–898. Elérhető: https://www.ksh.hu/statszemle_archive/2006/2006_09/2006_09_876.pdf

Chan, N., & Gray, C. (2006). Estimating Value-at-Risk in Commodity Markets. Journal of Commodity Markets, 1(1), 23–45.

EBSCO Research Starters. (2025). Hungary and Nuclear Power.

EFET (2023). 2023 Gas Hub Scorecard. Elérhető: <https://www.linkedin.com/pulse/efet-2023-gas-hub-scorecard-now-published-kuf3e>

EFET (2024): Position on EU Gas Derivatives Market Resilience. European Federation of Energy Traders, Brussels, pp. 1-8.

Energy Futures Initiative Foundation (2024). *The Future of Natural Gas in a Low-Carbon World*. EFI Foundation, April 2024

ENTSOG (2023): Winter Supply Review 2022/2023. European Network of Transmission System Operators for Gas (ENTSOG), Brüssel. Elérhető: https://www.entsog.eu/sites/default/files/2023-10/SO0053-23_Winter%20Supply%20Review%202022-23.pdf

Equans Group (2025). Biomass Energy: A Sustainable Alternative.

European Commission (2023): Consultation on Enhancing the Resilience of EU Gas Derivatives Markets. Directorate-General for Financial Stability, Financial Services and Capital Markets Union, Brussels, pp. 1-35.

European Gas Hub. (2025). The Value of Gas Supply Flexibility in an Increasingly Complex Electricity System

Grabar, Yakov (2021). A New Era for the Hungarian Gas Market. European Gas Hub Blog. Elérhető: <https://europeangashub.com/a-new-era-for-the-hungarian-gas-market.html>

Heather, Patrick (2023). European Traded Gas Hubs: Their Continued Relevance. Oxford Institute for Energy Studies. Elérhető: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2023/06/European-Traded-Gas-Hubs-their-continued-relevance-NG183.pdf>

HomeBiogas (2025). The Importance of Natural Gas Alternatives.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

International Energy Agency [IEA] (2022). World Energy Outlook 2022.

International Energy Agency [IEA] (2024). Hungary Energy Report.

Javorsek, M. (2016): Asymmetries in International Merchandise Trade Statistics: A case study of selected countries in Asia-Pacific. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, Statistics Division, Working Paper Series SD/WP/02/April 2016. Elérhető:

https://ec.europa.eu/eurostat/documents/7828051/8076585/Asymmetries__trade_goods.pdf

Kilian, L. (2008): "The Economic Effects of Energy Price Shocks." *Journal of Economic Literature*, 46(4), 871–909.

Levene, H. (1960). "Robust tests for equality of variances." In I. Olkin (Ed.), *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling* (pp. 278–292). Stanford University Press. Elérhető:

<https://archive.org/details/contributionstop00olki/page/278/mode/2up>

MEKH. (2025). Éves Adatok – Bruttó Villamosenergia-termelés.

MET Group (2025). 4 Alternative Heating Systems.

Mu, X. (2009). Weather, Storage, and Natural Gas Price Dynamics: Fundamentals and Volatility. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research, Working Paper No. 2009-002. Elérhető: <https://ceepr.mit.edu/wp-content/uploads/2023/02/2009-002.pdf>

National Gas Transmission (2020). Our International Connections. Elérhető: <https://www.nationalgas.com/our-businesses/our-international-connections>

National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2023). The Hidden Flexibility of the Natural Gas Network for Electric Power.

One Earth (2024). 7 Reasons Why Nuclear Energy Is Not the Answer to Solve Climate Change.

OptionMetrics (2022). 2022 Ukraine War: Surprising Effects. OptionMetrics Blog, 2022. március 29. Elérhető: https://optionmetrics.com/blog/2022_ukraine_war_surprising_effects/

OIES (2025). European Gas Market Dynamics Quarterly Report Q1 2025. Elérhető: <https://europeangashub.com/the-european-gas-premium-is-back.html>

Oxford Energy Institute (2025). Russian Gas to the EU: To Sanction or Not to Sanction. Elérhető: <https://www.oxfordenergy.org>

Reclaim Finance (2023). The Limits of Not-So-Clean Energy.

Regen Power (2025). What Are the Problems Faced by Renewable Energy?

Spillover effects of geopolitical risks on global energy markets. (2024). SAGE Journals. Elérhető: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/01445987231196617>

Sweco Group (2025). The Limits to Renewable Energy.

Szolnoki Pálma Tünde (2018). Működik a keltető? A földgázpiaci kiegyensúlyozási szabályrendszer hatásosságának értékelése a piacnyitás kezdeti szakaszában lévő gázpiacokon. Budapesti Corvinus Egyetem, Gazdálkodástani Doktori Iskola. Elérhető: https://phd.lib.uni-corvinus.hu/1037/1/Szolnoki_Palma.pdf

URE (2024). REMIT II regulation comes into force on 7 May. Energy Regulatory Office, pp. 1-2.

U.S. Energy Information Administration (EIA) (2022). Monthly Energy Review. Washington, DC.

U.S. Energy Information Administration [EIA] (2024). International energy outlook 2024.

U.S. Energy Information Administration [EIA] (2025). Biomass Explained.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2022). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2020. EPA 430-R-22-003. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

Westgaard, S., Estenstad, M., Steihaug, M., & Secomandi, N. (2011). Value-at-risk in the European energy market. NTNU Open. Elérhető: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2651322/Westgaard.pdf>

World Bank (2024). Fertilizer Market Watch. Elérhető: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8c2a59a8-50b3-4e6b-9605-e005a4f28c1c/content>

FÜGGELÉK

A disszertáció robusztus technológiai környezetre épít, amelynek középpontjában a Python áll, egy nyílt forráskódú programozási nyelv amely széles körben elterjedt a kvantitatív elemzések és pénzügyi modellezés területén. Minden kóddependencia kezelése a pip segítségével történik, amely a Python szabványos csomagkezelő rendszere, és biztosítja hogy a különböző könyvtárak melyek alkalmazásra kerültek mint a pandas, numpy, scipy, matplotlib és seaborn egységesen legyenek telepítve. Ez a megközelítés lehetővé teszi a reprodukálhatóságot és megkönnyíti az elemzés későbbi kiterjesztését. A szkriptek fejlesztése és futtatása PyCharm integrált fejlesztői környezetben történt, amely javítja az általános fejlesztési hatékonyságot. A széles körben elfogadott eszközök és megközelítések ezen integrációja nemcsak javítja a számítási teljesítményt, hanem összhangban áll a tudományos vizsgálatokhoz elengedhetetlen kritériumokkal is, ahogyan azt a korábbi kutatások (Westgaard et al., 2011) és (Chan & Gray, 2006) is rámutatnak. Összességében a választott technológiai keretrendszer alapot biztosít a fejlett kockázatelemzéshez, és elősegíti a további kutatást és reprodukálási törekvéseket.

A teljes kódbázis - beleértve a 4. és az 5. fejezet összes számításához és vizualizációjához szükséges modulokat - a Thesis_Risk mappában érhető el a GitHub-on a <https://github.com/bencebaumann/1st-project> címen, lehetővé téve az olvasók számára az elemzések megismétlését és az eredmények ellenőrzését. Angolul a README.md file utasításai alapján minimális programozási ismeretet feltételezve reményeim szerint a szkriptek sikeresen futtathatóak lokálisan, és a legtöbb esetben a számítások mögötti adatokat .xlsx vagy .csv formátumban generálják lehetővé téve az Excel alapú adatelemzést is!