

Határkeresztező kapacitások allokációja

Munkám a 4M piac-összekapcsolás [1] hatásainak megvizsgálásáról, kielemezéséről szól. Ehhez célomul tűztem ki megvizsgálni, hogy a SK-HU, valamint a RO-HU határmetszések másnapi villamosenergia-piaci mennyiségei között fennáll-e valamilyen jellegű korrelációs viszony. Célom továbbá a kapott eredmények összehasonlítása egy nem összekapcsolt piacú határmetszéken végzett vizsgálat által nyújtott eredményekkel, melyhez alanyul az AT-HU határmetszékét választottam. A vizsgálati módszerem minden esetben az adott adatsorok közötti korreláció számítás volt, melyeket minden esetben a MATLAB szoftverben végeztem.

The main aim of my work was to examine and evaluate the effects of the 4M market coupling to the parting countries. For my work I examined the SH-HU and the RO-HU borders as they are part of the 4M market coupling [1]. After I evaluated the results as a comparison I examined a border which is not part of any market coupling – the AT-HU border. The main tool of my work was the correlation examination between numerous values of each country's day-ahead market data. These calculations were mostly based on the MATLAB software.

Kulcsszavak: Day-ahead market (DAM), energiatőzsde, határkeresztező kapacitás, határmetszék, HUPX [2], JAO [3], kapacitásallokáció, kapacitásaukción, korreláció vizsgálat, korrelációs mátrix, piaci szereplők, villamosenergia-piac

1. BEVEZETÉS

1.1 A villamosenergia-piacról

A villamosenergia-piac alapvetően eltér bármely más, hagyományos jellegű piactól (zöldség, műszaki cikkek, kőolaj, földgáz). Ezesetben ugyanis a fizikai korlátok megszabják a piac alapvető működését, ugyanis eltérően a többi piac termékeitől, a villamosenergiát rendkívül nehéz és költséges tárolni. A termék eladótól vevőig történő áramlását ugyanis elsősorban nem a piaci igények, hanem a fizikai korlátok szabják meg. A villamosenergia-kereskedelem csak a meglévő infrastruktúrán, a villamos hálózaton történhet, így annak birtokosa egyfajta monopolisztikus helyzetben van – ezzel is tovább bonyolítva a villamosenergia-kereskedelem alaphelyzetét.

A szervezett villamosenergia-piacon a résztvevők a már meglévő infrastruktúrát használva tudnak anonim

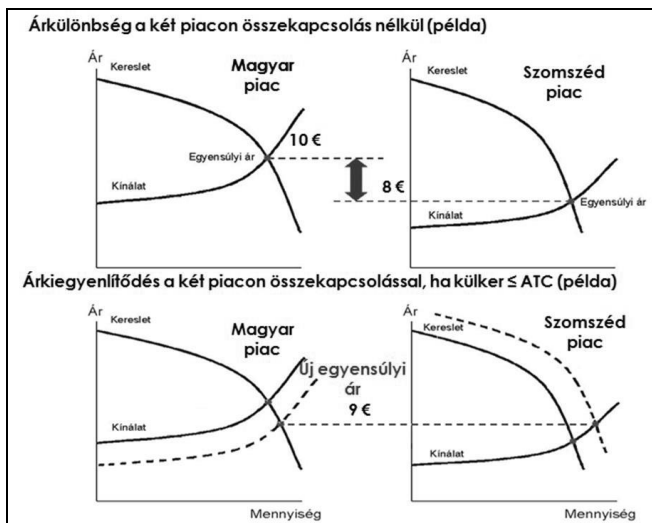
módon eladási és vételi ajánlatokat tenni a villamos energiára, mint piaci cikkekre rövid- és hosszútávon, különböző felbontásokban. Az ilyen kereskedelmi ajánlatok lebonyolítására hozták létre az országon belüli úgynevezett áramtőzsdéket, ahol az ilyen kereskedelem szervezett alapokon megvalósulhat.

A villamosenergia áramlása azonban nem áll meg az országhatároknál, ugyanis a világon, s így Európában is több ország villamosenergia-hálózata össze van kapcsolva. Ez azt jelenti, hogy a villamos energia az országhatárokon átívelő távvezetéseken folyamatosan áramlik, a fizikai törvényeknek megfelelően. Ez többek között azt is jelenti, hogy az országok között fennálló határmetszéken a villamosenergia kereskedelme lehetséges. Az ilyen kereskedelem szervezett megvalósításának céljával jött létre a Joint Allocation Office (JAO [3]), ahol a szervezett határkeresztező kapacitásaukción megvalósulnak napon belüli, napi, havi, valamint éves felbontásban. Azonban ilyen, országok közötti kapacitásaukción rendszer sem képes megoldani néhány problémát, mint például az országok között kialakuló szűk keresztmetszetek problémája. Ez a probléma azért léphet fel, mivel a rendszerösszekötő hálózati elemek átviteli kapacitása legtöbbször nem elegendő a piaci árak különbségét kiegyenlíteni igyekvő nagy volumenű határkeresztező villamosenergia-kereskedelemhez. Ezt röviden úgy lehet megfogalmazni, hogy a villamos hálózat egyes elemei bizonyos esetekben szűk keresztmetszetet jelentenek, vagyis nem tud annyi villamos energia átáramlani a hálózat adott metszékén, mint amekkorára igény lenne a piac szempontjából. [4]

1.2 A piac-összekapcsolásról

A piac-összekapcsolás alapvető motivációját az adott országok áramtőzsdéin kialakult piaci árak közötti különbség, valamint a két ország között fennálló úgynevezett szűk keresztmetszet jelenségének megoldására való törekvés adja. A rendszerösszekötő hálózati elemek kapacitása legtöbbször nem elegendő a piaci árak különbségét kiegyenlíteni igyekvő nagy volumenű határkeresztező villamosenergia-kereskedelemhez. Ezt röviden úgy lehet megfogalmazni, hogy a villamos hálózat egyes elemei bizonyos esetekben szűk keresztmetszetet jelenthetnek. A kapacitásallokáció kulcsszerepet játszik a rövidtávú ellátásbiztonság fenntartásában, ezáltal biztosítja a várható szűk keresztmetszetek elkerülését. [4] A piac-összekapcsolás célja elsősorban az, hogy kiegyenlítse a két ország piaci árait, azaz elérje, hogy az országok között átáramló energia mennyiségét ne a fennálló maximális kapacitás határozza meg, hanem a piaci igények és a kialakuló árak.

Ezen mechanizmus egyszerű példáját mutatja be az 1. ábra.



1. Ábra: a piac-összekapcsolás hatása [5]

A vizsgálatokat három határmetszékre végeztem el: a magyar-szlovák, a magyar-román, valamint a magyar-osztrák szakaszokra. A több különböző határszakasz bevonásának elsődleges célja az összekapcsolt piacú határszakaszon kapott adatok validálása, illetve összehasonlítása volt egy nem összekapcsolt határmetszéken általam számolt eredményekkel.

1.3 A 4M piac-összekapcsolás története

A 2009-ben elfogadott harmadik energiacsomag előírta az összekapcsolt piacok létrehozását, illetve konkrét intézményi keretet teremtett az üzemi és kereskedelmi szabályzatok kidolgozására és fejlesztésére a villamos energia határokon átnyúló kereskedelmére vonatkozóan. Az energiacsomag fő céljai közé tartozik a versenyképesség fokozása, az ellátásbiztonság erősítése, az energiahatékonyság elősegítése, valamint a fogyasztói érdekek hatékony érvényesítése is. [2]



2. Ábra: A 4M országok [6]

Elősegítendő a fenti célok megvalósítását az Európai Bizottság kiadta a kapacitásfelosztásra és a szűk keresztmetszetek kezelésére vonatkozó iránymutatását, a Capacity Allocation and Congestion Management Guideline-t, melyben meghatározta a villamosenergia-piacokra vonatkozó célmodellt. A cél egy egységes algoritmus alkalmazásával végrehajtott, európai szinten összekapcsolt, implicit kapacitás allokáció és egységes ár-alapú piac-összekapcsolás, azaz az Egységes

Másnapi Piac-összekapcsolás (single day ahead coupling – SDAC [7]) és az Egységes Napon Belüli Piac-összekapcsolás (single intraday coupling – SIDC [8]) megvalósítása, az alább összefoglalt lépéseken keresztül.

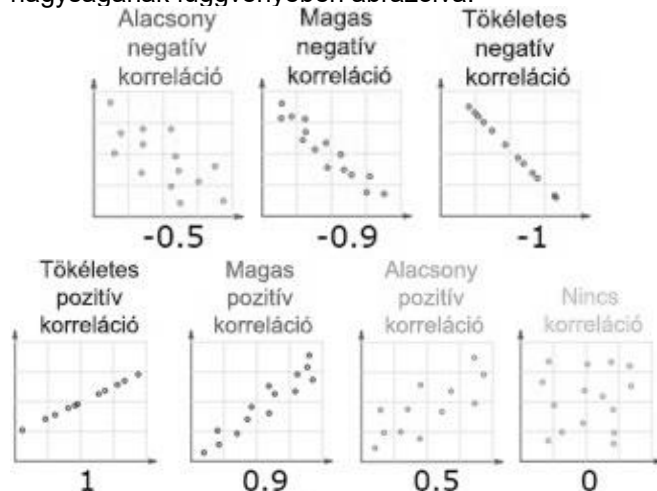
1.4 Korreláció vizsgálat

Az egyes adatsorok közötti korrelációs viszony feltárásához a MATLAB program egyik beépített, *corcoef* nevezetű függvényét használtam.

Ennek működése igen egyszerű: a visszatérési értéke az argumentumában meghívott mátrix sorainak és oszlopainak egymással való korrelációs együtthatóját adja vissza egy olyan mátrixként, melynek a főátlója 1, mivel az oszlopainak x -edik tagja és a sorainak x -edik tagja közötti korrelációt szimbolizálja – két ugyanolyan értékű változó pedig maximális korrelációs együtthatóval bír.

A mátrix többi eleme pedig megadja a függvény argumentumában meghívott eredeti mátrix oszlopai közötti korrelációs viszonyt, így értelem szerűen az eredménymátrix a főátlóra tükrös lesz, mivel a ugyanannyira korrelál b -vel, mint amennyire b korrelál a -val.

A továbbiakban kapott eredmények könnyebb megértését segíti a 2-3. ábra, melyen egy-egy példafüggvény és egy-egy lineáris függvény értékei láthatóak a kettő közötti korrelációs viszonyszám nagyságának függvényében ábrázolva.



3-4. Ábra: A korrelációs viszony [9]

2. Egy összekapcsolt piacú határmetszék: HU-SK

2.1 Alapvetések, célok

Csak piaci alapú kapacitásvizsgálatot végeztem – azaz csak a HUPX-en [2] elérhető másnapi piaci adatokat dolgoztam fel a vizsgálatom során. A modell szempontjából a 2016 – 2017 –es időszakot, valamint 2018 első negyedév időszakait vizsgálok; a 2015 előtti időszakokat a piac-összekapcsolás szempontjából értelmetlen volna vizsgálni.

A rendelkezésre álló adatok mind a 2016-os, mind pedig a teljes 2017-es évre lehetővé tették a vizsgálatot,

valamint a 2018-as első negyedévre is. Így a DAM árak, az ATC, illetve a spread (a két ország másnapi energiapiacán kialakuló árvektorok közti különbség, előjel nélkül) értékeit mindhárom időintervallumra felvettem a MATLAB modellem változói közé, mégpedig óras, napi, valamint heti felbontásban kezelve az adatokat, melyek a HUPX oldalán nyilvánosan elérhetőek.

A vizsgálat eredményeként azt vártam, hogy az adatokat kielemezve a magyar-szlovák határszakaszon észak-déli irányban áramló energia mennyisége elsősorban a két ország piaci árai különbségének (a későbbiekben csak spread-ként említve), s nem pedig a rendelkezésre álló határkeresztelő kapacitás (amely angol nyelvű rövidítése az ATC) mennyiségének a függvénye.

2.2 Korreláció vizsgálat

A vizsgálat során a számos paraméter között fennálló korrelációs viszonyt számítottam ki, valamint elemeztem. Ezen paraméterek alkották a másik, összekapcsolt piacú határszakaszon végzett vizsgálat alapját is (HU-RO). Ezek felsorolva:

- A magyar DAM árak
- A szlovák DAM árak
- A spread (a magyarországi másnapi piaci ár és a szlovákiai másnapi piaci árak közti különbség)
- A Magyarországból Szlovákiába áramló energia
- Az ATC (a rendelkezésre álló határkeresztelő kapacitás Szlovákiából Magyarország felé)
- A flow/ATC arány
- Az ATC – flow

Mindegyik mennyiség vektorként szerepelt a vizsgálat során az idő függvényében, annak felbontásától függő darabszámú értékekkel. Minden felsorolt változó értékei között megvizsgáltam a korrelációs viszonyt az összes többivel – figyelve, hogy milyen jellegű és hogy egyáltalán fennáll-e valamilyen kapcsolat közöttük.

2.3 Eredmények

A vizsgálat a várt eredményt hozta, az egyes korrelációs együtthatók értékeiből egyértelműen látszik, hogy a két ország piaci árai között erős korrelációs viszony áll fenn, azaz az egyes vizsgált évek alatt a különböző felbontástól függően vizsgált szórással, de követik egymást. Ez, vagyis a piac-összekapcsolás eredménye a két ország piaci árának alakulásában már a 2016-os évben is meglátszott. Megfigyeltem továbbá, hogy a spread és a Szlovákiából Magyarországra áramló energiamennyiség között is fennáll egy erős korreláció – vagyis minél nagyobb volt a vizsgált időszakban a két ország árának különbsége, annál nagyobb volt az áramlás Észak-Déli irányban, azaz Szlovákiából Magyarország irányába.

Elvégezve a másik két felbontásban a vizsgálatot azt tapasztaltam, hogy a vizsgálat szempontjából releváns információt hordozó változók a:

- Spread,
- A magyar és a szlovák piaci árak
- A flow/ATC

Az alábbi táblázatban összefoglalóan látható ezek értékeinek alakulása a 2016-os évben napi 24 órás felbontásban:

1. Táblázat. A 2016-os év órás felbontású eredményei

Felbontás: Óra	Spread	Ár [HU]	Ár [SK]	Flow/ATC
Spread	1	0.2280	-0.3167	0.4793
Ár [HU]	0.2280	1	0.8513	0.0300
Ár [SK]	-0.3167	0.8513	1	-0.2290
Flow/ATC	0.4793	0.0300	-0.2290	1

Amint az a táblázatból is látható, a magyar és a szlovák piaci árak között egy elég erős korrelációs viszony figyelhető meg, miközben az ATC (a rendelkezésre álló maximális határkeresztelő kapacitás mennyisége) és a két ország árai között szinte semmilyen korreláció nem figyelhető meg.

A vizsgálatot a nagy felbontás okozta tuskék kiküszöbölése végett elvégeztem napi, valamint heti felbontású adatsorokkal is, melyek a következő eredményt hozták:

2. Táblázat: A 2016-os év napi és heti felbontású eredményei

Felbontás: Napi	Ár [HU]	Ár [SK]
Ár [HU]	1	0.8220
Ár [SK]	0.8220	1
Felbontás: Heti	Ár [HU]	Ár [SK]
Ár [HU]	1	0.8440
Ár [SK]	0.8440	1

Ugyanezen korrelációvizsgálatot ezután elvégeztem a 2017-es év, valamint a 2018-as év első negyedévének adatait felhasználva. Az eredmények azt mutatták, hogy a két ország piaci árai egyre jobban kezdenek együtt mozogni az elmúlt két évben, 2018-ban számos helyen megfigyeltem a mindössze 0.1 EUR/MWh-s eltérést is néhány időszakban.

Ezen eredmények összefoglaló táblázata látható alább:

3. Táblázat: A 2017-es év vizsgálatának eredményei

A 2017-es év	Ár [SK] és Ár [HU]	A Spread és Flow/ATC
Felbontás: Órás	0.8022	0.5173
Felbontás: Napi	0.8193	0.3782
Felbontás: Heti	0.9215	0.5419

4. Táblázat: A 2018-as év vizsgálatának eredményei

A 2018-as I. negyedév	Ár [SK] és Ár [HU]	A spread és Flow/ATC	A spread és a Flow [HU->SK]
Felbontás: Órás	0.9567	0.4674	-0.2329
Felbontás: Napi	0.9628	0.6925	-0.4287
Felbontás: Heti	0.9638	0.7958	-0.5905

A 2018-as év első negyedét vizsgálva megfigyeltem, hogy az előző évekhez képest idén már számottevő a Magyarország irányából Szlovákia irányába való áramlás mennyisége is, ezért érdemesnek tartottam az ez, és a két ország piaci árai közötti kapcsolatot megvizsgálni. Az eredmények, ahogy fentebb is látható, azt mutatták, hogy ez a feltételezés nem volt alaptalan, sőt: már számottevőnek nevezhető negatív korrelációs viszonyt mutatott ki az árkülönbség és az említett irányú áramlás között, amely szintén a piac-összekapcsolás hatékonyságának egyik bizonyítékának tekinthető.

3. Összehasonlítás és validálás

A HU-SK határmetszéken végzett vizsgálat által kapott eredmények validálása érdekében elvégeztem egy hasonló vizsgálatot egy nem összekapcsolt piaci határmetszékre is, mely esetben a magyar-osztrák volt.

3.1 Alapfeltevések

Ezen vizsgálat során a legfőbb motivációt az jelentette, hogy alapként véve az összekapcsolt piaci eredményeket – azokat összehasonlíthassam egy nem market coupling-os határmetszékkel, melyen – az elmélet szerint nem a két ország piaci árai közti különbség a határmetszéki áramlás fő mozgató rugója, hanem az épp rendelkezésre álló határkeresztesző kapacitás mennyisége – az ATC.

3.2 Eredmények

Az áramlás mértéke 2016-ban és 2017-ben mind órás, mind napi, mind pedig heti felbontásban szinte minden időpillanatban megegyezett az ATC-vel, vagy pedig 1-5% közötti eltéréssel kevesebb volt. Ez természetesen arra enged következtetni, hogy egy nem összekapcsolt piaci határmetszéken (mint pl. ez is volt) átáramló energia mennyiségét elsősorban nem a két ország piaci árainak különbsége, hanem a rendelkezésre álló kapacitás nagysága határozza meg.

Érdekes megfigyelés tehető a kapacitásallokációs árakat megfigyelve a jao.eu kapacitásallokációs oldalon [3]. Megfigyelhető, hogy abban a hónapban, amikor a kapacitásallokációs ár kisebb volt, mint a magyar és osztrák árak közötti különbség – több résztvevő volt a kapacitásaukción és több nyertese is volt a kapacitásallokációs jogoknak.

Az alábbi táblázatban láthatók az általam a 2016-os adatsorokban megfigyelt ilyen hónapok:

5. Táblázat: Az alacsony kapacitás allokációs árú hónapok

	Jan.	Ápr.	Szept.	Okt.	Dec.
Spread [EUR/MWh]	17,66	6,92	7,58	13,35	12,96
Kapacitásjog ára [EUR/MWh]	14,1	3,67	6,88	8,79	1,49
Aukcióban résztvevők [db]	21	25	16	24	29

Ebből nyertek [db]	9	7	1	6	6
--------------------	---	---	---	---	---

Mindezek arra engednek következtetni, hogy egy ilyen határszakaszon fennáll annak a lehetősége, hogy a két ország piaci árai közti különbséget résztvevők is, ellentétben egy összekapcsolt piaci határszakasszal – ahol szinte elő sem fordulhat ilyen jellegű helyzet, a két ország másnapi piaci árai közötti kis különbségek miatt.

Emellett a két ország (HU-AT) DAM árai között is végeztem egy korrelációvizsgálatot mind a 2016-os, mind pedig a 2017-es évekre órás, napi, valamint heti felbontásban is. Ennek eredményei egyértelműen azt mutatják, hogy gyakorlatilag semmilyen korrelációs viszony nem állhat fenn a két ár alakulása között, tekintve, hogy a kapott korrelációs együtthatók -0.2 és +0.25 között mozogtak.

4. További validáció: HU-RO határmetszék

4.1 Alapfeltevések

A HU-RO határmetszék vizsgálatánál is a HU-SK-nál használt értékeket vettem alapul, mivel azonban a vizsgált adatsor átnézésével világosan látszott, hogy számottevő áramlás van mindkét ország irányába, ezért nem hanyagolhattam el egyik flow értékét sem, így azokat is bevettem a korreláció számításába.

4.2 Eredmények

A kapott eredményeket összefoglaló, 6. táblázatban látható, hogy ezen a határmetszéken picit bonyolultabbak a viszonyok, mint a szlovák-magyar határmetszéken. Megfigyeltem, hogy a két ország másnapi piaci árának különbsége (időnként a magyar, időnként a román oldalra nézve) és a Romániából Magyarországra áramló energia mennyisége között viszonylag jelentős korrelációs viszony áll fenn, azonban a Magyarországból Romániába áramló energiára nézve ez már kevésbé igaz.

Mindemellett említésre méltó az a tény is, hogy a határmetszéken adott időintervallumban domináns piaci energiaáramlási irány is erős függést mutat attól, hogy mekkora nagyságú a nem domináns piaci irány. Ennek több oka is lehet, amelyek után jelen munkám során nem folytattam kutatómunkát.

6. Táblázat: A magyar-román határmetszék

2016-os év	Ár [RO] és Ár [HU]	A spread és Flow [RO->HU]	Flow [RO->HU] és Flow [HU->RO]
Felbontás: Napi	0.8688	0.7074	-0.7172
Felbontás: Heti	0.9384	0.8556	-0.8405
2017-es év	Ár [RO] és Ár [HU]	A spread és Flow [RO->HU]	Flow [RO->HU] és Flow [HU->RO]
Felbontás: Napi	0.9302	0.5784	-0.7134

Felbontás:	0.9730	0.7004	-0.7891
Heti			

A kapott adatokból az a következtetés vonható le, hogy ezen a határmetszéken láthatóan erősebb a korreláció a két ország piaci árai között, mint a magyar-szlovák határmetszéken. Ez abból a szempontból is érdekes, hogy tekintve a 4M piac-összekapcsolás történetét, Magyarország és Szlovákia között két évvel korábban kezdődött meg a folyamat, mint Magyarország és Románia között.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az összekapcsolt piacos határmetszéken végzett vizsgálataim a kívánt eredményt hozták, alátámasztva a piac-összekapcsolás mechanizmusának hatásosságát, amely lassan, de biztosan közelebb viszi a jelenleg még tagolt, részenként egyesített villamosenergia-piaccaal rendelkező Európát egy egységes, minden határmetszéken keresztülívelő összekapcsolt nagy villamosenergia-piac felé.

A nem összekapcsolt piacú határmetszéken végzett vizsgálataim során arra az eredményre jutottam, hogy egy ilyen határmetszéken az átáramló energia nagysága elsősorban a rendelkezésre álló határkeresztező kapacitás mennyiségétől függ, s nem a két ország áraitól – így pedig nem lehetséges a szervezett, megjósolható másnapi aukció ezen a részen, mivel nincs jóslási alap arra, hogy fog alakulni a határkeresztező kapacitásmennyiség, valamint annak az aukciós ára.

Következtetésképp azt a tanulságot vonhatom le, hogy az összekapcsolt piac mindenképpen kiszámíthatóbbá teszi, s így jobban tervezhetővé a másnapi kapacitásaukciót – ami pedig sokkal hatékonyabb, valamint olcsóbb energia importot tesz lehetővé az adott határmetszéken

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **HUPX.HU:** Weblap: https://hupx.hu/uploads/Piac%C3%B6sszekapcsol%C3%A1s/DAM/4mmc_tajekoztato.pdf; Budapest, 2014. szeptember 16.
- [2] **HUPX.:** Hungarian Power Exchange, weblap: <https://hupx.hu/hu/>
- [3] **JAO.EU.:** Joint Allocation Office, weblap: www.jao.eu
- [4] **Sörös Péter Márk, Dr. Raisz Dávid.:** Áramlás alapú kapacitáskalkulációs eljárás alkalmazása villamosenergia-piacok összekapcsolása során. BME, TDK konferencia, 2012
- [5] **A kép forrása: HUPX.HU.:** Weblap: <https://hupx.hu/hu/piacosszekapcsolas/dam>
- [6] **A kép forrása: OPCOM.:** Weblap: <https://www.opcom.ro>
- [7] **Emissions-EUETS:** Weblap: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/2032-single-day-ahead-coupling-sdac>

- [8] **Emissions-EUETS:** Weblap: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/2033-single-intraday-coupling-sidc>
- [9] **A kép forrása: Mathsisfun.:** Weblap: <https://www.mathsisfun.com/data/correlation.html>