

LASZLO M. PALOTAS ELŐADÁSA AZ ÁTADÓ ÜNNEPSÉGEN



Prof. Dr.-Ing. Laszlo M. Palotas, Ph.D.

<https://doi.org/10.32969/VB.2023.1.1>

**Mélyen Tisztelt Elnök Úr!
Tisztelt Hölgyeim és Uraim!
Kedves Ünneplő Vendégek!**

Ez év november 6-án nagy örömmel olvastam Balázs L. György professzor e-mailjét:

„...Mint láthatod részünkről minden a legnagyobb rendben halad a december első hétvégéjéhez kötődően várható események kapcsán. Csatoltan küldöm a Kuratórium döntését...” – azaz a díjátadás két év után ismét a megszokott ünnepi környezetben történhet.

Egy hét elteltével az örömhöz sajnos a tehetetlenség és bizonytalanság érzései párosultak egy diagnosztizált látóideg infarktusz miatt. A meglehetősen intenzív orvosi beavatkozásoknak köszönhetően – kifejezetten nem orvosi javaslatra – megkockáztattuk a budapesti utat, és így egy erősen megszűkülött homályosabb látótérrel ugyan, de – szeretettel köszönhetem a 2022. évi Palotás László-díj kitüntetettjét,

**Török Zsuzsanna okl. építőmérnököt, a
A-HÍD Zrt. minőségbiztosítási főmérnökét.**

Díjazottunk szakmai életrajza azt is elárulta, hogy tanulmányai a környezetvédelem szakirányában indultak, ami engem arra bátorított fel, hogy hagyományos bevezetőmben ebben az évben ismét a környezetvédelem, a fenntarthatóság, a klímaváltozás, az energia ellátás és tárolás problémáival foglalkozzam.

A *The Guardian* ez év október 19-én nyilvánosságra hozta egy új felmérés eredményeit, mely szerint a közvélemény-kutatásban megkérdezettek *kevesebb mint fele* gondolja úgy, hogy az éghajlatváltozás „*nagyon komoly veszélyt*” jelent országaira a következő 20 évben.

A világ legnagyobb szennyezőjének számító Kínában az emberek mindössze *20%-a* mondta azt, hogy úgy gondolja, hogy az klímaváltozás komoly fenyegetést jelent, ami 3 százalékpontos csökkenést jelent a Gallup World Risk Poll legutóbbi, 2019-es felméréséhez képest. Globálisan ez az

1. ábra: „A jó hír” a klímaváltozáshoz



arány 1,5 százalékponttal 48,7%-ra esett vissza 2021-ben. A felmérés 121 országban, több mint 125 000 interjú alapján. A felmérés készítői szerint a Covid-19 világjárvány és az olyan azonnali problémákkal kapcsolatos aggodalmak, mint az egészség, a megélhetés részben magyarázhatják a csökkenést.

Feltűnő, hogy átlagosan a *legnagyobb ökológiai fenyegetettséggel küzdő régiók aggódnak a legkevésbé* az éghajlatváltozás miatt: Közel-Keleten és Észak-Afrikában a lakosság csupán 27,4 százaléka, Dél-Ázsiában pedig 39 százaléka fejezte ki aggodalmát.

A csökkenő aggodalmak ellenére azonban a klímaváltozás ökológiai számlája világszerte növekszik, *az aggodalmak csökkenése nem jelenti a veszély enyhülését.*

A sydney-i székhelyű *Institute for Economics and Peace* 228 országra és területre kiterjedő tanulmánya is megállapította, hogy jelenleg világszerte 750 millió embert érint az alultápláltság, a klímaváltozás, a növekvő infláció és Oroszország ukrajnai háborúja mind súlyosbítja az élelmiszer- és a megfizethető energiaellátás bizonytalanságát a jövőben. A tanulmány azt is kimutatta, hogy 83 országban több mint 1,4 milliárd ember szembesül extrém „*water stress*” állapottal, ami azt jelenti, hogy a lakosság több mint 20%-a nem jut tiszta ivóvízhez. A jelentés szerint 2040-ig – a szubzaharai Afrika, a Közel-Kelet és Észak-Afrika területek mellett – több európai országban is kritikus tisztavíz-hiány várható, beleértve Görögországot, Olaszországot, Hollandiát és Portugáliát.

Egy tanulmány szerint az elmúlt nyáron Európa, az Egyesült Államok és Kína nagy részét kiszárította, széles körben elterjedt szárazság az éghajlatváltozás miatt *20-szor valószínűbb volt.*

A sors iróniája, hogy miközben Európát is történelmi aszály sújtotta, Pakisztánt történelmi árvíz.

Ahhoz, hogy sikerüljön megállítani a klímaváltozást, alapvetően *két dologra* van szükség: 1. radikálisan csökkenteni kell a *kibocsátott széndioxid mennyiségét*, 2. a *légtérben lévőket pedig ki kellene vonni onnan*. Mindkettő komoly feladatot jelent, *különösen az utóbbi.*

Az *Oregon State University* egyik kutatója által vezetett tudományos együttműködésben kifejlesztett új vegyületnek köszönhetően a széndioxid a kéményekből kinyerhető, és kereskedelmileg értékes vegyszerek előállítására használható fel. A *Journal of Materials Chemistry A*-ban megjelent tanulmány azt mutatja, hogy az új szerves fémváz, amely egy általános ipari vegyszerrel, a propilén-oxiddal van megtöltve, képes katalizálni a ciklikus karbonátok termelődését, miközben a gyári füstgázokból kimossa a CO₂-t.

A háromdimenziós, lantanid alapú fémorganikus váz, vagy *MOF (metal organic framework)*, a biogázból, széndioxid, metán és más, szerves anyagok bomlásakor keletkező



2. ábra: Szárazság az éghajlatváltozás miatt (Steven Senne/AP)



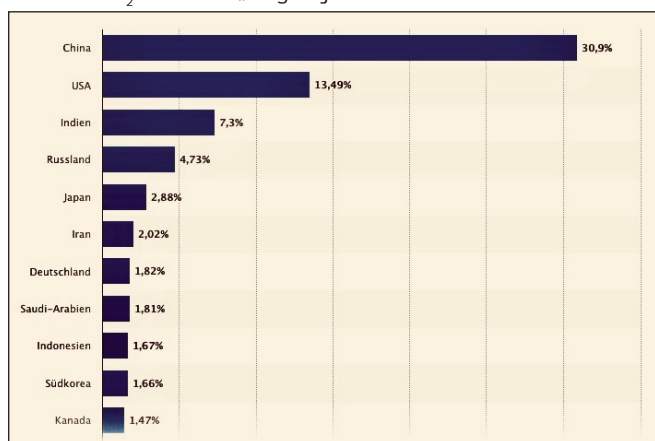
3. ábra: Áríz Pakisztánban, 2022. augusztus (Getty Images)

gázok keverékéből ciklikus karbonáttermelés katalizálására is használható.

A *Tokió Metropolitan Egyetem* mérnökei most egy új, a levegő közvetlen elnyelésére szolgáló módszert (direct air capture, DAC) fejlesztettek ki, amelyről azt állítják, hogy 99 százalékos hatékonysággal működik. A megkötött szenet aztán eltárolhatják, vagy azonnal felhasználhatják, például az élelmiszeriparban. A hatékony katalizátorok kifejlesztése az egyik legnagyobb kihívás a klíma változással foglalkozó új széndioxid-körforgásos gazdasággal kapcsolatban.

A cementgyártás jelenleg sajnos az egyik *legkibocsátóbb, legintenzívebb* ipari folyamatok közé tartozik. Ha a *cement egy ország lenne*, a széndioxid kibocsátásának „versenyében” a cement az *előkelő harmadik* helyet foglalná el Kína (30,9%), Amerikai Egyesült Államok (13,5%) után (8%-kal), még India (7,3%), Oroszország (4,73%) és Japán (2,88%) előtt.

4. ábra: CO₂ kibocsátás „ranglistája”



A hatékony klímavédelem érdekében tehát egyértelmű, hogy a kibocsátást világszerte csökkenteni kell a cementiparban.

A winterthuri *Sulzer* iparcsoport és a kaliforniai *Blue Planet* cég CO₂ *negatív beton* fejlesztésén dolgoznak. Sulzer sajtóközleménye szerint a Blue Planet amerikai vállalat egy olyan szén-mineralizáló módszert fejlesztett ki, amely leválasztja, felhasználja és tárolja az olyan kibocsátó forrásokból származó szenet, mint az erőművek, az acél- és cementipar vagy a finomítók, így a cementgyárakból származó CO₂-t rögzíti.

A CCU (Carbon Capture and Utilization) rendszer mineralizálja a CO₂-t, aminek következtében szintetikus mészkő aggregátumok képződnek. Ezek tartósan megkötik a CO₂-t szilárd, kristályos karbonát formában.

A granulátumot 70-90 százalékos főkomponensként adják a betonhoz. Az eljárás – a szintetikus mészkő- aggregátumokban megkötött CO₂ által – a betonban lévő cement *CO₂-lábnyomát* „több, mint kompenzálja”. A rendszert az amerikai vállalat által üzemeltetett pittsburgi kísérleti üzembe kívánják telepíteni, ahol leválasztják a szomszédos földgázéremű kibocsátását.

A kutatómunka persze Németországban sem állt meg egy klímabarátabb, sőt a *klímasemleges, fenntartható* cementgyártás tekintetében.

A hamburgi székhelyű *Holcim* vezető szerepet kíván betölteni a *dekarbonizáció* területén.

A nyersanyagból származó kibocsátás folyamatfüggő, ezért elkerülhetetlen. Annak érdekében, hogy a jövőben a cementet klímasemleges módon állítsák elő, új széndioxid-leválasztás technológiákra (különösen CCU-ra) és ágazatközi megoldásokra van szükség. Egy jó példa erre a *WESTKÜSTE100* ágazatközi partnerség, amely 2019-ben alakult Schleswig-Holsteinben. A projekt célja *zöld hidrogén* előállítása tengeri szélenergiából.

A *Holcim* néhány éven belül, 2029-ben Lägerdorfbán szeretné megépíteni a világ egyik első nettó nulla cementgyárát.

A *lägerdorfi* cementgyárban a CO₂-kinyerése, feldolgozás és továbbítása történik a downstream metanol szintézishez. A *zöld hidrogén* termelésből származó oxigénfelesleget a gáz oxifuel technológiával használja fel a cement égetési folyamatában. Ily módon a CO₂-kibocsátás közel 100 százalékkal csökkenthető a cementgyártás során. A kibocsátást, a nagy tisztaságú széndioxidot, ezután a vegyipar kiindulási anyagként és nyersanyagként használja a gazdaság különböző ágazataiban. A projekt jellegzetessége a anyagciklusok összekapcsolása a már *meglévő* regionális infrastruktúrával.

A próbaüzemet 2025 végéig tesztelik, majd az évtized végére egy nagyszabású ipari megoldással fogják méretezni (HySCALE100 projekt).

5. ábra: A “Westküste100” project – “klímasemleges” cementgyártás



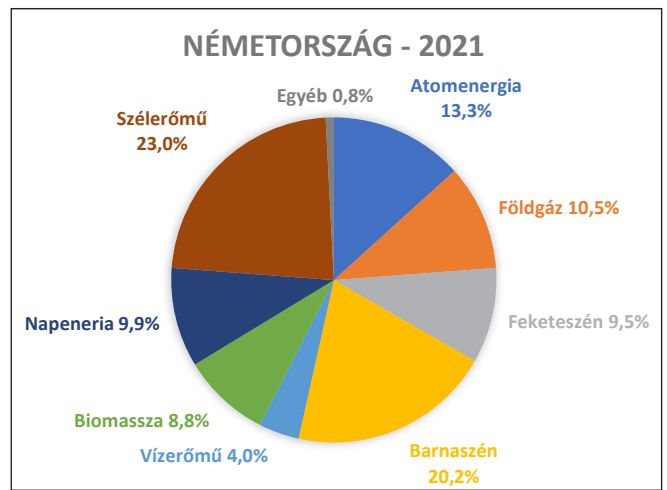
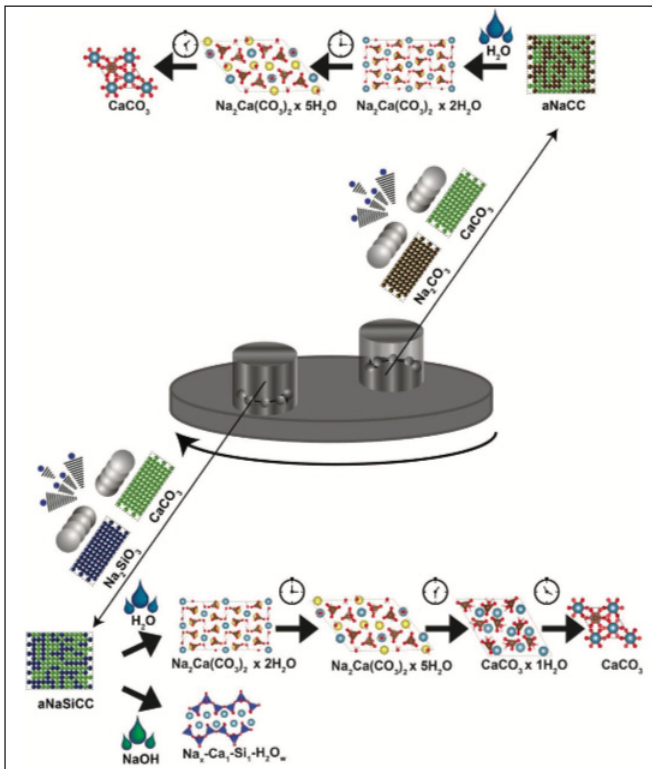
A Rajna partján fekvő Mainz város (a BionTech cég székhelye) nemcsak az első Covid-19 mRNA oltóanyag kifejlesztésével vált ismertté.

A mainzi *Johannes Gutenberg Egyetem* (JGU) vegyészei olyan módszert fejlesztettek ki, amely hosszú távon drasztikusan csökkentheti a cementgyártásból származó CO₂-kibocsátást. A nyers meszet (CaCO₃) már nem alakítják át égetett mésszé a széntüzelésű kemencékben, hanem egyszerűen megőrlik szilárd nátrium-szilikáttal (Na₂SiO₃). Ez az őrlési lépés „aktivált” közbenső terméket állít elő, amely egyenletesen elosztva tartalmazza a cement összetevőit. Marónátronnal reagálva a kalcium-szilikát-hidrátokhoz hasonló szerkezetű termék képződik. A cementpaszta képződése és vízzel való megkötése komplex reakciókaskádon keresztül megy végbe, melynek elemi lépései analitikusan, high-tech módszerekkel magyarázhatók. Míg a mész elégetéséhez 1450 Celsius fok körüli hőmérséklet szükséges, az őrlési lépés szobahőmérsékleten történik. 120 kilowattóra/tonna mellett a hagyományos cement őrléséhez szükséges mechanikai energia csak körülbelül 10 százalékáig az égési folyamathoz szükséges energiámnak. A mainzi kémikusok azonban elismerik, hogy a költség- és energiabecslések csak durva közelítések, és a laboratóriumi tesztek nem hasonlíthatók össze egy ipari folyamattal. Ennek ellenére ez egy első lépés lehet a cementgyártás nem hagyományos módjához.

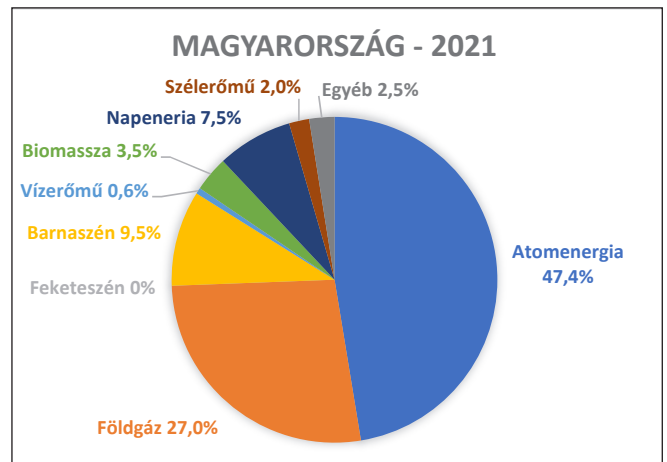
A 6. ábra áttekintést ad a CaCO₃ és NaCO₃ (aNaCC) vagy CaCO₃ és NaSiO₃ (aNaSiCC) amorf intermediereinek mechanokémiai előállításáról, valamint az aNaCC és aNaSiCC vízzel való megkötési reakcióinak reakcióútjáról. Az aNaCC hidratációs reakciója H₂O-val kalcit kristályosodásához vezet (*fent*). Az aNaSiCC reakciója a karbonát reakcióágon monohidrokalcihoz (CaCO₃ · H₂O), a szilikát reakcióágon NaOH aktiválás után C-S-H képződéséhez vezet (*alul*).

A klímacélok eléréséhez (Magyarország 2050-re tűzte ki a klímasemlegességi célt) a nap- és szélenergia egyre több ország energiastratégiájában játszik fontos szerepet.

6. ábra: A cement mechanokémiai előállítása (doi/10.1002/adfm.202108126)



7. ábra: Németország villamosenergia forrásai 2021-ben



8. ábra: Magyarország villamosenergia forrásai 2021-ben (ENTSO-E©Statista 2022)

Emellett alternatívákat kell találni a több szempontból kockázatos atomenergiára.

Németország villamosenergia előállításánál a megújuló energiaforrás aránya 45,7% volt a 2021-es felmérés szerint (7. ábra), tehát közel 5%-kal csökkent a 2020-as állapottal szemben a korábban említett okok, főleg Oroszország ukrajnai háborúja miatt.

Magyarország megújuló energiaforrás aránya 14% körül van, mint a 8. ábra mutatja.

Németországban 2022-ben tovább csökkenthet az arány a 2021. év végén leállított három atomerőmű miatt. A német klímavédelmi törvény módosításával a szövetségi kormány szigorította a klímavédelmi követelményeket, és előírta az üvegházhatású gázok semlegességét 2045-re. 2030-ra a kibocsátást 65 százalékkal kell csökkenteni 1990-hez képest. A számok jól mutatják, hogy az ambiciózus éghajlati célok, a klímasemlegesség eléréséhez jócskán van tennivaló a megújuló energiaforrások létesítésével az elkövetkező két évtizedben.

A megújuló energiaforrások, különösen a szél- és a napenergia, világszerte gyors kiépítése egyre nagyobb igényt teremtett a nagy mennyiségű energia tárolására. A megújuló energiaforrások által dominált hálózati rendszerben a megszakítás nélküli energiaellátás fenntartásához a jelenleg elérhetőnél lényegesen nagyobb tárolókapacitásokra van szükség, hogy lefedje a hosszú ideig tartó gyenge vagy szélmentes időszakokat, és a kevesebb napsütéses időszakot.

A tárolás kérdése a regeneratív energiaformák „Achilles-sarka”. A tárolási technológia hiánya miatt többen – sajnos – azon a véleményen vannak, hogy az atomenergiától és a fosszilis tüzelőanyagoktól nem lehet eltekinteni.



9. ábra: Energy Vault 75 méter magas EV1 típusú bemutató egysége svájc Arbedo-Castione városában. Fotó: Giovanni Frondoni

Jelenleg a világszerte tárolt energia 96 százaléka víztározókban van. Németország például 28 szivattyús-tározós erőművel rendelkezik. Az összes tároló feltöltésével 37,4 GWh villamosenergiát lehet tárolni, ami kb. 3,9 millió háztartást látná el 1 napra.

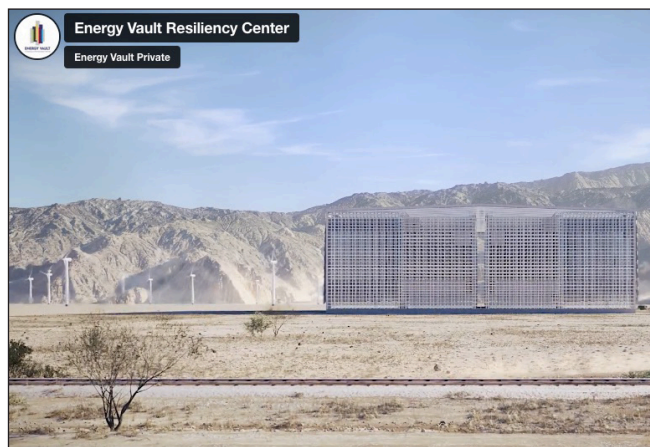
Ezeket az erőműveket azonban csak olyan országokban lehet építeni, ahol hegyek, visszatérhető vizek és jó anyagi források vannak. Ezekben az országokban pedig a környezet- és természetvédelmi okokból történő terjeszkedés kérdéses, és valójában már nem is lehetséges.

A Bloomberg New Energy Finance szerint az energiatárolás exponenciális növekedés küszöbén áll: 2019-es jelentése szerint 2040-re 122-szeresére nő a tárolás, ami akár félmilliárd fontot is igényelhet új beruházásokra.

A ticinói Energy Vault Start-up cég megoldása egy gigantikus, beton vagy olcsó kompozit téglákból készült toronyból áll, amelyek egyenként 30-35 tonnás tömegűek.

Egy központilag integrált, hatkarú speciális daru mozgatja felfelé ezeket a „kockákat” és ehhez megújuló energiát használ. A gravitációs erő hatására lefelé irányuló mozgás során a tárolt energia egy motor/generátor segítségével szinte energiavesztés nélkül alakul vissza elektromos energiává. Speciális szoftver önállóan vezérli ezt a „töltési/kisütési” folyamatot az emelőerőmű energiatároló tornyában. Figyelembe veszi az olyan tényezőket is, mint például a szél, amely potenciálisan befolyásolhatja az egymásba illeszkedő téglákat és a tornyot. A rendszer működése tehát hasonló a jól ismert szivattyús tározós erőművek elveihez, amelyek két vízmedence magasság-különbségét használják fel. A 9. ábra az Energy Vault 75 méter magas EV1 típusú bemutató egységét mutatja a svájci Arbedo-Castione városában. A torony teljes méretű változata (120 méter magasságig) 7000 téglát tartalmazhat, számított kapacitása 57 megawattóra (MWh) körül van – a gyakorlatban az effektív értéke 35 MWh, míg a kimenő teljesítménye négy megawatt, ezzel 2000-3000 otthonnak biztosíthatja az áramellátást nyolc órán keresztül. A költségek 8-9 millió frankot tesznek ki. Az Energy Vault szerint a torony hatásfoka 85-90 százalék körüli.

2022 szeptemberében Kína az Energy Vault továbbfejlesztett EVx™ gravitációs, 2 GWh-s energiatároló platformját rendelte meg első széndioxid mentes ipari parkjaihoz. A rendszer kialakítása egy gigantikus magasraktárra emlékeztet, amelyben



10. ábra: Energy Vault EVx™ gravitációs energiatárolója

az algoritmikusan vezérelt blokkok állandó mozgásban vannak az épületen belül. A moduláris rendszer tíz megawattórás lépésekben több gigawattórás kapacitásra bővíthető (10. ábra).

Végül, de nem utolsósorban tekintsünk meg egy rövid, 3D szimulációs filmet, mely a két „gravitációs villamosenergia-tároló” működési elvét mutatja be.

2022. december 5-én végső búcsút vettünk Wellner Pétertől...

Engedjék meg, hogy befejezésül idézzem Wellner Péter, a Palotás László-díj első díjazottjának kedves szavait:

„Felvillant egy régi emlék, amikor Palotás professzor úr – akinek a tiszteletére alapították a díjat – előadása közben a tananyagot túl is oktatva, kifelé fordította tenyerét és a hallgatónak így mondta: „gyerekek”.

Te jó ég! Mit szól díjazásomhoz a Professzor Úr odafent – ahonnan nincs visszaút? – Talán azt mondja az ott lévő többi szakembernek: gyerekek, az én tanítványom volt! Remélem így lesz.”

Köszönöm megtisztelő figyelmüket!

Prof. Dr-Ing. Laszlo M. Palotas, Ph.D.

HIVATKOZÁSOK

- <https://doi.org/10.1039/D1TA09463G>
 - <https://www.theguardian.com/>
 - <https://interestingengineering.com/>
 - <https://today.oregonstate.edu/news/>
 - <https://pubs.rsc.org/>
 - <https://www.nature.com/articles/s41560-021-00969-5>
 - <https://www.holcim.de>
 - [holcim_nachhaltigkeitsbericht_2021_web.pdf](https://www.holcim.de/holcim_nachhaltigkeitsbericht_2021_web.pdf)
 - <https://ng.24.hu/>
 - <https://www.baublatt.ch/baubranche/>
 - <http://blueplanet-itd.com>
 - <https://www.sulzer.com>
 - <https://punkt4.info/>
 - <https://www.bundesregierung.de/>
 - <https://de.statista.com/>
 - <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202108126>
- Giesecke, J.; Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen, ISBN 978-3-662-10859-8, Springer-Verlag, 1998