

2



INFRASTRUKTURÁLIS
FEJLESZTÉSEK
A DUNAÚJVÁROSI
EGYETEMEN

TUDÁSVÁGY, SZORGALOM
ÉS A KÖZÖSSÉG EREJE

Portrészlet dr. Takács Istvánról



6

24



ENERGIAELLÁTÁSI
HELYZETKÉP AZ EURÓPAI
ENERGIAPOLITIKA
TÜKRÉBEN

ACÉL
AZ EGYEDI FORMÁK
VILÁGÁBAN



31

34



HIDROGÉN (H₂) ALAPÚ
NYERSVASGYÁRTÁS

AZ ACÉLIPAR
KIHÍVÁSAI 2022



38



INFRASTRUKTURÁLIS FEJLESZTÉSEK A DUNAÚJVÁROSI EGYETEMEN

BŐVÜLŐ, KORSZERŰ ANYAGVIZSGÁLATI LEHETŐSÉGEK PAKS II. JEGYÉBEN

Kormányzati kezdeményezésre kompetenciaközpontok fogják támogatni a paksi új atomerőművi blokkok létesítését. Az egyik ilyen bázist a Dunaújvárosi Egyetemen alakítják ki. A Központ feladata az új blokkok építése során felmerülő egyes anyagvizsgálati kérdések megoldása. Az együttműködés a Dunaújvárosi Egyetemen is jelentős infrastrukturális fejlesztéseket tett lehetővé, amelynek az acélipar is haszonélvezője, nyertese lehet.

A DUNAÚJVÁROSI EGYETEM ESÉLYE

– Kormányhatározat alapján 2020 januárjában indítottuk el Dunaújvárosban a Paksi Kompetencia- és Kutató-

központ kialakítását – mondja bevezetésként *dr. Pázmán Judit* tudományos és kutatási rektorhelyettes, egyetemi docens. – A Központ az atomerőmű létesítés-specifikus kérdéseivel foglalkozik, az alkalmazott szerkezeti anyagok, az anyagtechnológiák, a hegesztéstechnológiák kérdéseivel, különös tekintettel a hegesztésre, a roncsolásos és roncsolásmentes anyagvizsgálatokra, emellett nagy hangsúlyt fektet az Egyetem a szakemberképzésre. Ezek egyrészt atomerőművi specifikus, tehát létesítményfejlesztéssel, -karbantartással kapcsolatos képzések. Van egy általános része is, ami inkább az acélipari, anyagvizsgálati oldalt közelíti meg. Anyagvizsgálati, különösen roncsolásmentes, mechanikai anyagvizsgálati képzési lehetőségeket aránylag kevés helyen kínálnak a magyar felsőoktatásban. Oktatják, egy-egy tantárgy megjelenik, de így, mint nálunk, képzési programként nagyon kevés van. Mi a speciális atomerőművi képzések mellett anyagvizsgáló és hegesztő képzéseket is indítunk.

– Milyenek a technikai adottságaik?

– Nagy hangsúlyt helyezünk arra, hogy az elméleti tudást gyakorlati ismeretekkel, laboratóriumi körülmények között is ki tudjuk egészíteni hallgatóink számára. Ugyanakkor kell emellé egy kutatóhely is, ahol az esetleges problémákra adhatunk válaszokat. Ezt szolgálja két laboratórium és két kiszolgáló egység. A roncsolásmentes anyagvizsgáló labor már korábban is létezett, de számos új eszközzel bővült (pl. fázisvezérelt ultrahangos berendezések, hordozható röntgenkészülék). Most hoztunk létre egy teljesen új mechanikai anyagvizsgáló laboratóriumot. Fejleszteni tudtuk néhány eszközzel a hegesztőbázisunkat, és teljesen új gépműhelyt alakítottunk ki.

– Milyen vizsgálatokat tudnak végezni ezekben az egységekben?

– A roncsolásmentes területen a fő hangsúlyt az ultrahangos és az örvényáramos vizsgálatokra helyezzük. Ezek mellett tudunk már penetrációs és vizuális vizsgálatokat végezni. A régi röntgenlaboratóriumot felújítottuk, és vásároltunk egy hordozható durvaszerkezet-vizsgáló készüléket is. A mechanikai vizsgálatok terén szinte teljes a berendezéseink palettája. Van egy huszonöt tonnás univerzális anyagvizsgáló (szakító-fárasztó) gépünk, amellyel mínusz hetvennyolcvan Celsius foktól egészen plusz ezer fokig tudunk mérni, törésmechanikai tesztekét végezni, ez egy korszerű és komoly gép. Ilyen berendezés legközelebb Miskolctapolcán található. Rövidesen érkezik egy tíztonnás szakítógép, valamint felújítottuk az egytonnás szakítógépünket. A poli-
merekktől az acélokig, a nagyobb szerkezeti elemekig képesek vagyunk ezekkel az eszközeinkkel vizsgálatokat végezni. A komplett infrastruktúra-fejlesztés, -bővítés és -felújítás kilencszázhatvanmillió forintba került. Célunk, és az én



Gekko márkájú ultrahangos vizsgálóberendezés, mellyel hegesztett kötések és alapanyagok minősítése végezhető el



ÉLETPÁLYA

Dr. Pázmán Judit tősgyökeres helyi familia tagja, már a nagymamája is Dunapentelén született.

2005-ben anyagmérnökként végzett a helyi főiskolán.

2007-ben a Miskolci Egyetemen fémtechnológus és anyagvizsgáló szakirányon szerzett MSC-diplomát, 2011-ben PhD-zett.

2012 óta dolgozik a Dunaújvárosi Főiskolán, majd Egyetemen. Főiskolai docensként kezdett, 2015-18 között az Anyagtudományi Tanszéket vezette.

2021 óta tudományos és kutatási rektorhelyettes.

Főiskolás kora óta az OMBKE tagja, keresztelve, fiúsnév is van (a János nevet kapta), hordja a pecsétgyűrűket, fontos feladatának tekinti a közösség építését, a hagyományok őrzését.

Két nagybátyja (Pintér Imre „Pedro” és Pintér János) is a DUNAFERR-ben dolgozott, édesanyja is kohász.

személyes feladatom is elősegíteni az Egyetem kutatásaihoz és pályázataihoz kapcsolódó bevételszerző tevékenységet, ennek jegyében folyamatosan figyelemmel kísérjük a forrásbevonás, forrás szerzés lehetőségeit.

A DUNAFERR LABOR KFT. SZEREPE

A korszerű laborpark ipari szereplőknek történő kijánálása, a velük való közös munkálkodás ma már szinte elképzelhetetlen akkreditáció nélkül – az Egyetemnek azonban ezen a te-



Mikro- és makro-keménységmérő gépek, melyekkel Vickers-, Knoop- és Brinell-keménységmérést lehet végezni fémeken és fémötvözeteken, de akár kerámia- és üvegfelületeken is



Univerzális anyagvizsgáló gép, mellyel $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ között lehet szakító, fázisátviteli vizsgálatokat végezni különböző acélminőségeken

területen kevés tapasztalata van. Itt jött a képbe a DUNAFERR, ahol már több mint negyedszázada akkreditált vizsgálóhelyként működnek a vállalati laboratóriumok. A DUNAFERR Labor Nonprofit Kft. szakemberei az anyavállalat részére végzett vizsgálatok mellett hosszabb ideje, növekvő arányban dolgoznak külső megrendelők megbízásából is.

2022 júniusában megállapodást írt alá a Dunaújvárosi Egyetem és DUNAFERR Labor Nonprofit Kft. Az együttműködésben konkrét szakmai területeket határoztak meg a felek. Amint azt Bocz András, a DUNAFERR Labor Nonprofit Kft. ügyvezetője egy korábbi interjúban összegezte, ezt megelőzően is több területen valósult meg együttműködés az egyetem, valamint a dunaferr-es kutató- és vizsgálólaboratóriumok között. Számos vasműs szakember oktatott, vagy jelenleg is oktat az intézményben, továbbá duális képzési szerződésben álló egyetemi hallgatók is megismerkedhettek a laboratóriumok egyes munkaterületeivel.

A mostani együttműködés keretében a Labor Nkft. szakemberei több évtizedes szakmai tapasztalataik alapján – a felmerülő igények szerinti mértékben – mentori segítséget nyújtanak az Egyetem részére a laboratóriumi infrastruktúra kialakításától kezdve egészen a laborakkreditációs folyamat lezárásáig. Emellett akkreditált laboratóriumként részben biztosítják a vizsgálati hátteret a különböző mechanikai, metallográfiai és roncsolásmentes anyagvizsgálatok elvégzésével abban az időszakban, amíg az egyetemi labor-



Műszerezett Charpy-féle ütőmű, mellyel fémek és fémötvözetek dinamikus igénybevétellel szembeni ellenálló képessége, azaz ütőmunka mérhető -170°C -tól 300°C -ig, így átmeneti hőmérséklet-meghatározást is el lehet végezni

infrastruktúra teljes mértékben kiépül, valamint az egyetemi mechanikai anyagvizsgáló személyzet szakmai gyakorlatszerzésére is lehetőséget nyújtanak.

– Jelentős szakmai segítséget kapunk a Labor Kft.-től és a jövőben is szoros együttműködésre törekszünk, mert bízunk benne, hogy egyre több vizsgálati felkérést kapunk az ipar különböző szereplőitől. Az új laboratóriumaink alap-

vetően acélipari vizsgálatokra jöttek létre, elsősorban a Pakson beépítésre kerülő anyagok vizsgálatára, de a jövőben is szeretnénk tényezőkké lenni ezen a területen, számunkra is kiemelten fontos a DUNAFERR hosszú távú, kiszámítható működése. Dunaújváros a székhelyünk, ez a város mégis csak az acélról lett híres, törekszünk az együttműködésre, remek lehetőségek nyílhatnak – teszi hozzá Pázmán Judit.



MAID-labor által fejlesztett pásztázó ultrahangos készülék öntvények porozitásvizsgálatainak automatizálásához

TUDÁSVÁGY, SZORGALOM ÉS A KÖZÖSSÉG EREJE

Portrészlet dr. Takács Istvánról



Dr. Takács Istvánból kiváló előadókészségű, felkészült pedagógus is lehetett volna, ha annak idején nem a mérnöki pályát választja – ez a gondolat merült fel bennem, miközben az alábbi cikk kapcsán beszélgettünk. Műszaki embereknél viszonylag ritka humán műveltségről is tanúságot tett, lenyűgözve hallgattam családjának történetét, s miközben mesélt, megelevenedtek körülöttünk az elmúlt évszázadok. Persze, a „mese” megfelelő pontján elérkeztünk a munkásságát meghatározó témához, az acélgyártáshoz is.

A felvidéki gazdálkodó család élete magán viselte az elmúlt kétszáz év háborúkkal, kitelepítésekkel, kisajátításokkal, nyelvtörvényekkel és a mindennapi élet sok-sok nehézségével járó lenyomatát. Mindemellett az egymást követő generációkból sugárzott az a pozitív életszemlélet is, amelynek három alappillére a kemény munka, a hit és a szilárd erkölcsi alapokra épített családi élet volt. A pozsonyi klinikán 1938. május 31-én megszületett kisfiúra is ennek az életnek a folytatása várt, ám nagyon korán kiderült, hogy éles esze, és sokrétű érdeklődése tanulásra predestinálja.

Hogyan indult az élete, tudományos pályafutása?

■ A Felvidékről, a Pozsony közelében fekvő Szencről némi kitéréssel a Baranya megyei Mágocsra telepítették át a családjukat. Az általános iskolai éveimet a mágocsi iskolában töltöttem. Tanárain tanácsára szüleim gimnáziumba írtattak. Pécssett a Nagy Lajos Gimnáziumban, majd a dombóvári gimnáziumban tanultam, és vegyésznek készültem. Több kiváló tanuló sikertelen felvételijét látva nem mertem a Veszprémi Egyetemre jelentkezni, a Miskolci Egyetemre mentem, vas- és fémkohász, metallurgus mérnöknek.

Az egyetemi éveink, miután 1956-an voltunk elsőévesek, eléggé zavarosak voltak. 1957-től a forradalomért büntetőleg

az egyetemisták igénybe vehető anyagi támogatásait is jelentősen lecsökkentették. De a mindennapok nehézségei mellett is éltük a fiatalok életét: táncolni jártunk, udvaroltunk Miskolc középiskolás lányainak, de emellett a tanulás állt a mindennapok középpontjában. Magam is aktív voltam a tudományos diákköri kutatásokban is, 1960-ban például egyik első díjat nyert munkámat az Országos Műszaki Tudományos Diákköri Konferencián elő is adhattam. 1961-ben szereztem meg a mérnöki diplomámat – a diplomamunkám témája a nyersvasgyártáshoz kapcsolódott –, és még ugyanabban az évben munkába is álltam a Dunai Vasműben.



Sokan gondolhatták úgy, hogy egy fiatal mérnök számára az akkori Sztálinváros a lehetőségek városa volt...

■ Ez így igaz. Szakmailag is izgalmas lehetőség volt a hazai nyersvas- és acélgyártás fellegrába bekerülni, és anyagilag is, főként egy fiatal házaspár életkezdését tekintve. Nekem már harmadévesen társadalmi ösztöndíjas szerződéselem volt a gyárral. A feleségemmel már az egyetemi évek alatt megismerkedtünk, s ugyan a házasságkötést későbbre terveztük, aztán mégis „előrehozott” esküvő lett a vége, miután házasként rögtön lakást is ajánlottak számunkra. Ő közgazdasági technikumban tanult, és a dunajvárosi szalmacellulóz-gyárban kapott állásajánlatot.



A Takács család fotója 1957-ben készült. Középen az ifjú István

Reményekkel telve, nagy munkakedvvel, újító ötletekkel jöttünk, és hálásak voltunk a lehetőségekért, amit a fiatalágnak akkoriban a város kínált. A legtöbbünknek nem voltak rokonai a városban, így a kollegiális, szakmai kapcsolatok kis túlzással a családot is pótolták az életünkben. A gyár akkori vezetése tudatosan tervezte a létszámgazdálkodást, tisztában voltak vele, hogy az új termelőberendezéseket üzembe helyező mérnököket követően folyamatosan szükség lesz majd a műszaki értelmiség utánpótlására is. Fiatal szakembereket, Miskolcra kohómérnököket és gépészmérnököket, a Budapesti Műszaki Egyetemről pedig villamosmérnököket szerződtettek a gyárba. Így került a vasműbe *dr. Szabó Zoltán, Kőhalmi Kálmán, Csinády Gábor és Forgács Gábor* is. Az akkoriban megkötött barátságok még ma is tartanak, bár a még élő mérnöktársak száma, így a nyolcvanon túl, sajnos egyre fogyatkozik.

Az első munkahelye a martinacélmű volt, s ez az üzem a későbbi szakmai pályafutásában is meghatározó szerepet játszott.

■ 1961-ben egy olyan időszakban kerültem az Acélműbe, ami a szakmai kibontakozás minden lehetőségét biztosította egy ambíciózus, fiatal mérnök számára, hiszen a Dunai Vasmű egy olyan kombinát volt, amelynek szinte minden termelőberendezését már a telepítésüktől kezdve folyamatosan fejlesztették. 1954-től az első kohó, majd a két acélgyártó kemence üzembe helyezésétől a termelés és az építkezés párhuzamosan folyt, de már eközben is lényeges műszaki fejlesztések történtek. A harmadik és negyedik acélgyártó ke-



Együtt a család 2019 karácsonyán

mence például már más, Maerz-konstrukcióban épült meg, a Meleghengerműben pedig az eredetileg tervezett négy helyett öt állványt telepítettek. Ugyanitt 1963-tól a *Répási Gellért* által irányított acélméteallurgiai fejlesztések (a félig csillapított acélok gyártása és egyebek) lehetővé tették a martinacélműben előállított öntecsek termelékenyebb, gazdaságosabb, úgynevezett egymelegből való kihengerlését. Ebben a munkamódban elmaradt az öntecsek bugává nyújtása után azok lehűtése és újrahevítése. 1965-re minden termékből a tervezettnél többet, így 640 ezer tonna nyersvasat, 615 ezer tonna acélt, 410 ezer tonna melegen hengerelt lemezt és közel 800 ezer tonna kokszot termelt a gyár.

Jómagam „zöldfülű” mérnökként acélgyártó munkakörben kezdtem, később energetikus és termelésvezető beosztásokban dolgoztam. 1965 után további fejlesztések történtek, például a kemencék átépítése Maerz-Boelens kemencékké, a földgáztüzelésre való áttérés, amelyekkel 1970-re sikerült elérni a 900 ezer tonnás acéltermelést és szükségtelemmé vált a beruházás második ütemére tervezett kemencék megépítése. Az acélgyártás oxigénes intenzifikálása után 1972-re az acéltermelés meghaladta az évi egymillió tonnát. A kohók térfogatának növelése, a FAM üzembe helyezése, a Meleghengermű előnyújtója sorvonó motorjának nagyobb teljesítményűre cserélése után 1976-ban már 1 millió 200 ezer tonna volt az acéltermelés, melyet a saját Meleghengerműben ki is tudtunk hengerelni. Ekkorra futott fel a másodtermékek termelése is. A fajlagos anyagkihozatal és az energiafelhasználás is sokat javult. A különböző technológiai fejlesztések — például az oxigénes konverter telepítése — révén a későbbiekben a termelési volumen még tovább növekedett, sikerült elérni az évi 1,6 millió tonnás acéltermelést.

A fejlesztések megvalósítása folyamatosan intenzív munkát igényelt a kollektívától, a rendszernek igyekeztem én is hasznos „fogaskereke” lenni. Javarást a martinakemencék földgáztüzelésének bevezetésén, valamint az oxigén széles körű alkalmazhatóságát biztosító feltételrendszer kialakításán dolgoztam a legtöbbet ebben az időszakban.

NÉVJEGY

Dr. Takács István 1938-ban született Pozsonyban

Okleveles kohómérnök, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1961

Műszaki egyetemi doktor, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 1983

Munkahelyek

Dunai Vasmű (acélgyártó, energetikus, termelésvezető) 1961-1974

TÜKI Tüzeléstechnikai Kutatóintézet (tudományos osztályvezető, műszaki főtanácsos, vállalkozásvezető) 1974-1993

DUNAFERR Dunai Vasmű (energotechnológiai menedzser) 1993-2005



Egy munkanap az irodában, a 70-es években

A földgáz bevezetése a gyárba 1967-ben jelentős munka volt, a KOGÉPTErv terveinek adaptálásával és számos kisebb, helyi fejlesztéssel sikerült úgy átállítanunk a martinke-mencéket földgáztüzelésre, hogy egy óra termelés kiesésünk sem volt. 1969-ben szabadalmi oltalommal védett módszert dolgoztam ki, „Oxigénlándzsa és hűtési eljárása” címmel. Ezt a termelés intenzifikálását lehetővé tévő módszert több mint húsz éven át, egészen a martinacélgyártás megszüntetéséig alkalmazták a Dunai Vasműben.



Illusztris szakmai társaságban a Miskolci Egyetem aulájában az egyetem rektorával, valamint a kohó- és a bányamérnöki karok dékánjaival



Közösségi oldalának borítóképe egy meghatározó vasműs emlék: a martinacélgyártó kemence

Nyugodtan fogalmazhatunk úgy, hogy az elért termelési eredményekben benne volt több generáció műszaki fejlesztési munkája, kreativitása, szervezőkészsége és hihetetlen odaadása. A munkaidő kezdete és vége, mint olyan, sosem volt központi kérdés egyikünk számára sem.

Következett egy váltás az életében, amikor 1974-ben a Tüzeléstechnikai Kutatóintézetbe került.

■ Mint utóbb kiderült, a földgáz sikeres bevezetésének híre a Vasműből a TÜKI-hez is eljutott, valószínűleg emiatt hívtak a kutatóintézetbe, Miskolcra. 1974-1993 között a TÜKI tudományos osztályvezetőjeként, majd később műszaki főtanácsos vállalkozásvezetőjeként dolgoztam. A fő szakmai területem néhány kollégával együtt a hazai szilikátipar földgáztüzelésre történő átállítása volt, egyedi tüzelőberendezések kifejlesztésével. Sok kutatással, tervezéssel és rengeteg utazással járt együtt ez az időszak, hiszen a magyarországi téglagyárak, cserép-, cement-, üveg- és porcelángyárak működését egyaránt érintette. Az akkori KGST-együtműködés keretében, ma már úgy mondanánk, hogy komoly nemzetközi projekteken is részt vehettem. Többek között 1985-ben részese voltam az akkori Szovjetunió legnagyobb, Novorosszijszk kikötővárosban található cementgyára, 170 méter hosszú, 5 méter belső átmérőjű 13 000 m³/óra gázfogyasztású, forgódobos kemence tüzelési rendszerének korszerűsítésében. Emellett még számos külföldi üzemlátogatáson, tanulmányúton szerezhettem tapasztalatokat, a lengyelországi Nowa Huta, a csehországi Osztrava és az orosz Cserepovec acélkombinátjaiban. Az utazások alkalmával és a nemzetközi szakirodalom tanulmányozásában is sokat segített az orosz nyelvtudásom.

Időközben 1983-ban a Miskolci Egyetemen summa cum laude minősítéssel sikerült megvédenem „A metallurgiai és energetikai folyamatok kölcsönhatása az acélgyártásban” tárgyú doktori értekezésemet. Ennek révén, és egyébként is szoros kapcsolatom maradt a kohászattal a TÜKI-időszak

alatt is, rendszeresen részt vettem kutatási feladatokban a Dunai Vasműben és az Ózdi Kohászati Üzemeknél is. A Bányászati Kohászati Egyesület (BKE) választmányának három cikluson át tagja voltam, 15 éven át a BKL szerkesztőségében tevékenykedtem.

A dunaferres munkakapcsolat aztán feléledt, és egy újabb hosszú időszakra meghatározta az életét.

■ A TÜKI állami forrásai a rendszerváltás után becsökkentek, egyre kevesebb kutatási megbízást kaptunk, így aztán ötvenöt évesen bevállaltam még egy váltást, és visszatértem Dunaújvárosba. Az Acélműbe és az Energiaszolgáltató Kft.-hez is hívtak egykori kollégáim, végül az utóbbi területre kerültem, energiatechnológiai menedzser beosztásba. A nyugdíjazásomig munkaviszonyban, utána pedig hatvanhét éves koromig még vállalkozóként dolgoztam a DUNAFERR-nek. Szakmai teamek munkáját koordinálva több, az energiafelhasználás és a környezeti emisszió mérséklését eredményező fejlesztés előkészítésében és megvalósításában vehettem részt. Ezek a fejlesztések többek között az erőműi kazánokat, a meleghengerműi tolokemencéket, valamint a kohógáz fáklyázását érintették. Emellett részt vehettem a vállalat egyes termelőegységeit érintő, hosszabb távú fejlesztési koncepciók kidolgozásában is. Ezek közül több, a termelési volument és az acélminőség javítását célzó fejlesztés meg is valósulhatott, például a Kokszolóműben és a Meleghengerműben.

Egy gazdag, alkotó életpálya mögött általában mindig ott van a „háttérország”: a munkahelyi közösség és a család.

■ Nem volt ez másként az én esetemben sem. Minden munkahelyen remek kollégáim és támogató vezetőim voltak. Mondom ezt azután, hogy a DUNAFERR-nél a működésem utolsó öt évében négy vezérigazgatót „éltem túl”. Konfliktusaim szinte soha nem voltak, sem kollégával, sem vezetővel, csak vitáim. De egy értelmes vita, amelyben mindenki kifejtheti az álláspontját, elmondhatja az aggályait vagy a jobbító ötleteit, szerintem soha nem hátráltatja, hanem épphogy előre viszi a dolgokat. A jó munkahelyi közösség mindig is az erőssége volt a Vasműnek. Nagyon remélem, hogy a vállalat jelenlegi, válságos helyzetében megmarad ez a jelentős erőforrás, amire támaszkodni lehet majd a jövőben.

Ami a szakmai kapcsolatrendszerrel illeti, az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület berkein belül

FONTOSABB ELISMERÉSEK

Bronz-, Ezüst- és Aranyjelvényes Kiváló Újító,
1966, 1967, 1970

Hétszeres Kiváló Dolgozó

Kiváló Kohász (miniszteri kitüntetés), 1983

Szent Borbála Emlékérem (miniszteri kitüntetés), 2004

Alkotói díjak, DUNAFERR Szakmai Publikációért Nívódíjak

Péchy Antal Emlékérem

Sóltz Vilmos Emlékérem, 2005, 2015



A fontos kitüntetések egyike

igyekszem kapcsolatot tartani a lehető legtöbb egykori kollégával.

A család pedig számomra a legfontosabb dolog a világon. A feleséggel mindvégig támogattuk egymást, amiért óriási hálával tartozom neki, hiszen sok időt „loptam el” a családi életből is azért, hogy a munkára fordíthassam azt. Szeretném megérteni, megértésben élhetjük meg tavaly a hatvanadik házassági évfordulónkat. Két gyermekünk van, a fiam mérnök-közgazdász, ő sokáig szintén a DUNAFERR-nél



Az aranydiploma átvétele 2011-ben

dolgozott fejlesztési főmérnökként, jelenleg Székesfehérváron, vízügyi szakterületen dolgozik és ott is él a családjával. A lányom pedagógus, velük közös házában élünk Miskolcon. A dunaújvárosi kötődés miatt a nagyvenyimi házunkat is megtartottuk, az életünk így egyaránt zajlik Miskolcon és Dunaújvárosban is. Őt gyönyörű, okos unokával büszkélkedhetünk, akik nagyon sok örömet okoznak nekem. Az egészségem – leszámítva az ilyenkor már „szokásos” bajokat – rendben van. A világ dolgai iránt az érdeklődésem nem csökkent, szerencsére ma már a technika is lehetővé teszi, hogy naprakész legyen az ember a fontos dolgokat illetően.

AZ ÁTMENETI HŐMÉRSÉKLET VIZSGÁLATÁRÓL

*A Charpy-féle ütővizsgálat
1901 óta gazdagítja ismereteinket
az acélok szívós tulajdonságairól [8],
a műszaki életben dolgozók
vagy műszaki oktatásban résztvevők
nagy valószínűséggel találkoztak már vele.*

A magyar nyelvű szakirodalom az ütővizsgálatnál szinte mindig megemlíti az átmeneti hőmérséklet jelenségét is, ezeket látványos „S” alakú diagramokon jelenítik meg. A példaábrák többségükben „megrajzolt” elvi görbék, tényleges mérési adatok nélkül és a megtalált irodalmi források nem tárgyalják teljes mélységben ezt a témakört.

Ez a cikk azért született, hogy áttekintést adjon az átmeneti hőmérséklet jelenségéről, valamint a nemzetközi szakirodalomban „elterjedt” modellezéséről a saját méréseink bemutatásával.

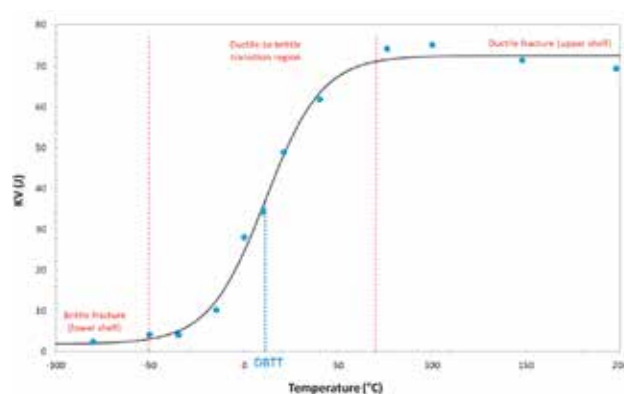
1. AZ ÁTMENETI HŐMÉRSÉKLET ÉS HÁTTERE

1.1 Szívós–rideg átmenet

A szívós-rideg átmenet a fémeknél és acéloknál gyakran megfigyelhető jelenség, amely a fémek törési viselkedésében a magas hőmérsékleten kialakuló képlékeny (stabil) törésről alacsony hőmérsékleten törékeny (instabil) törésre való változásának felel meg. A törési mód változása általában egy bizonyos hőmérséklet-tartományban történik,

amelynek középpontjában egy adott hőmérséklet áll, amelyet szívós-rideg átmeneti hőmérsékletnek vagy az angol nyelvű irodalomban DBTT-nek (*Ductile-Brittle Transition Temperature*) neveznek. A magyar szakirodalomban egyenesen a TTKV jelölés honosodott meg (TT: Transition Temperature). [1]

A szívós-rideg átmenet jelensége azért következik be, mert egyes fémekben a képlékeny zóna kialakulása hőmérsékletfüggő folyamat. Az **1. ábrán** látható „upper shelf, US” szívós alakváltozási hőmérsékleten elegendő hőenergia van a kristályszerkezetben ahhoz, hogy megkönnyítse



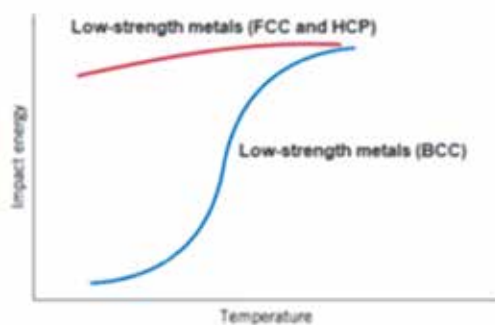
1. ábra: Kis szilárdságú acél átmeneti hőmérsékleti diagramja

a diszlokációk [12] mozgását külső feszültség hatására. Ez lehetővé teszi a plasztikus zóna kialakulását a repedés csúcán, elősegítve ezzel a repedésképződést és a képlékeny (stabil) törés terjedését. A hőmérséklet csökkenésével azonban a diszlokáció mozgását elősegítő hőenergia csökken, ami megnehezíti a képlékeny zóna kialakítását a bemetszés vagy a már meglévő repedés csúcán, lásd az ábra „*lower shelf, LS*” részét. A DBTT alatt a diszlokáció mobilitása és a plasztikus zóna mérete gyorsan csökken, ami a törési szívósság jelentős csökkenését eredményezi. Miután a diszlokáció elcsúszása gyakorlatilag lehetetlen, a fém törékeny (instabil) repedésterjedés következtében eltörik. [1]

A különböző rácsszerkezetű fémek eltérően viselkednek:

- A lapközepes köbös (FCC: *face-centered cubic*) kristályszerkezetű fémeknél nem jellemző a szívós-rideg átmenet, alacsony hőmérsékleten is megőrzik szívósságukat. A kristályszerkezetükben található csúszási síkok nagy száma alacsony hőmérsékleten is lehetővé teszi a diszlokációs mozgás létrejöttét.
- A legtöbb hexagonális rácsszerkezetű fém (HCP: *hexagonal close packed crystal structure*), beleértve a magnézium- és a titánötvözeteket, szintén nem mutat átmeneti viselkedést.
- A térközepes köbös (BCC: *body-centered cubic*) kristályszerkezetű fémek jellemzően szívós-rideg átmenetet mutatnak, mivel nem rendelkeznek olyan egymásra épülő csúszási síkokkal, amelyek lehetővé teszik a diszlokációk könnyű vándorlását, ezért ezekben az anyagokban a diszlokációk mozgása termikus aktiválást igényel. Az alacsony hőmérsékleten drasztikusabb mechanizmusok, például kötéstörés, indulnak be az alkalmazott feszültség hatására. [1]

Nukleáris szerkezeteknél, hegesztett kötéseknel, nyomástartó edényeknél fontos ismerni a szerkezetbe épített anyagok átmeneti hőmérsékletét, mert a tervezéskori méretezés a szívós állapotú alapanyagra történik – általában. Ezért már nagyon korán felmerült az igény az anyagok szívóssági korlátainak megismerésére. [2]



2. ábra: Átmeneti hőmérséklet sematikus ábrája a lapközepes FCC / hexagonális HCP és a térközepes BCC-rácsszerkezetű fémeknél

A szakirodalmi szerzők szerint a törésmechanikai vizsgálatok drágák, időigényesek és túl nagy próbatestméret szükséges hozzájuk, ami például a nukleáris iparágban nem kivitelezhető. A törésmechanikai szimulációkhoz a „*V*” bemetszésű próbatestek Charpy-féle ütővizsgálat eredményeit használják fel, a viszonylag kis próbatestmérettel jól használható a szívósság hőmérsékletfüggő változásának méréséhez.

A reaktorok üzemidejének előrehaladásával a vele egyidős, besugárzott minták száma így is véges, ezért a Charpy-féle ütővizsgálat mellett még más vizsgálati és modellezési eljárásokat is használnak a szerkezetek élettartam-bebecslésére. Mi ebben a cikkben csak matematikai modelleket mutatunk be.

1.2 Modellek és William Oldfield

William Oldfieldnek 1975-ben, az ASTM szabványosítási újságban jelent meg „*Curve fitting impact test data: a statistical procedure*” című cikke. W. Oldfield véleménye szerint a szívósság az anyag azon képessége, hogy ellenálljon a repedés kialakulása által okozott meghibásodásnak [2].

A térközepes rácsszerkezetű fémeknél – ahogyan azt az 1.1 pontban tárgyaltuk – a törési munka értéke (az acél szívóssága) hőmérsékletfüggő, ezért a vizsgálatokat vagy egy adott minimum ütőérték elérésének ellenőrzésére vagy az alapanyagra jellemző átmeneti hőmérséklet meghatározására végzik el.

Az átmeneti hőmérsékleti diagram felvételét a szívós alakváltozás hőmérsékletétől elindulva, különböző hőmérsékletre hűtött, legalább 3-3 darab próbatest eltörésével végzik, az ütőértékek átlagát a hőmérséklet függvényében ábrázolják. A diagram egy szigmoid függvény, közel szimmetrikus viselkedést mutat az induló és a megállapodó tartományban. Van egy kezdeti monoton felfutási szakasza, egy középső, változást mutató szakasza, majd egy újabb monoton szakasz következik. Ezek a szakaszok egy S betűre, vagy a görög kis szigma betűjelére emlékeztető grafikonná állnak össze. [7]

Az ütési energián kívül (KV, J) két további utólagos mérést is végezhetünk az eltört mintákon.

- kitüremkedés, laterális expanzió (LE, mm): a próbadarab vastagságának növekedése, amelyet a törés által kiváltott képlékeny deformáció okoz. Az expanziót a törött mintafeleken a képlékeny deformáció magasságaként kell mérni. [4]
- Szívós töret mérése (SFA: *Shear Fracture Appearance, %*): a szívós töret területének aránya a teljes területhez viszonyítva. Az LS-tartományban várhatóan az SFA-értéke 0%, az US tartományban 100% az **1. ábra** szerint.

Mindhárom mérés (KV, LE és SFA) az **1. ábrán** láthatóhoz hasonló átmeneti viselkedést mutat a BCC-fémeknél.

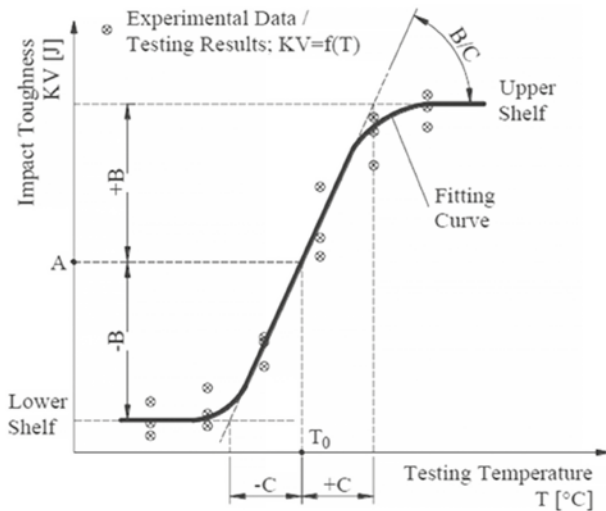
1.2.1 Szimmetrikus hiperbolikus tangens modell, HT – Symmetric [2]

Az átmeneti hőmérséklet-diagram egy szigmoid függvény, jól modellezhető hiperbolikus tangens (tanh) függvénnyel vagy normál integrállal.

W. Oldfield javaslata a szimmetrikus hiperbolikus tangens modell használatára:

A 3. ábrán látható diagramból az alábbi egyenlet írható fel:

$$Y = A + B * \tanh\left(\frac{T-T_0}{C}\right) \quad (1)$$



3. ábra: Oldfield nem-lineáris regressziós modellje

Az (1) képletben az Y az ütési energia/munka, a T a hőmérséklet, az A, B, T₀ és C pedig regressziós eljárással meghatározott, beállítható paraméterek.

A nemlineáris regressziós görbék illesztésére számos más megoldás is létezik. Jól használható a Taylor-soros linearizációs megközelítés. Az (1) egyenletet Taylor-sorokkal kibontva az alábbi összefüggéseket kapjuk:

$$Y = A + B * \tanh\left(\frac{T-T_0}{C}\right) + \frac{\partial Y}{\partial T_0} \delta T_0 + \frac{\partial Y}{\partial C} \delta C \quad (2)$$

azaz

$$Y = A + B * \tanh x \left(\frac{B}{C}\right) \delta T_0 \operatorname{sech}^2 x + \left(\frac{B}{C}\right) \delta C x \operatorname{sech}^2 x \quad (3)$$

A sech a szekáns hiperbolikus függvény. Az $x = (T-T_0)/C$, a δT_0 és δC a T₀ és C olyan változatai, amelyek legjobban illeszkednek az adatokhoz. A regressziós lépéseket egymás után végrehajtva az (1) egyenletet kapjuk vissza.

1.2.2 Aszimmetrikus hiperbolikus tangens modell, AHT – Asymmetric [1]

A modell az előző HT-modellből származik, a T₀ helyett már a DBTT-jelölést használja. Új elemként tartalmazza a D-paramétert, amelynek értéke meghatározza, hogy a regressziós görbe alakja mennyiben tér el az alsó és felső régi-

ókban egymástól. Az AHT-modell matematikai egyenlete:

$$Y = A + B * \tanh\left(\frac{T-DBTT}{C+D*T}\right) \quad (4)$$

ami felírható az alábbi alakban is:

$$Y = \frac{LS+US}{2} + \frac{US-LS}{2} * \tanh\left(\frac{T-DBTT}{C+D*T}\right) \quad (5)$$

A további D-paraméter a regressziós görbe aszimmetriáját számszerűsíti.

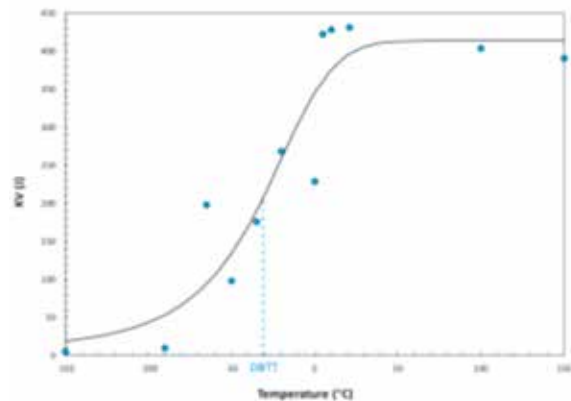
Ha D = 0, a görbe szimmetrikussá válik, és egybeesik HT-moddellel. Ha D < 0, a görbület az alsó átmeneti tartományban nagyobb lesz, mint a felső átmeneti tartományban és az ellenkezője történik, ha D > 0.

1.2.3 Aszimmetrikus BURR-modell – BUR Asymmetric [1]

A valószínűségelméletben, a statisztikában és az ökonometriában használják a Burr-eloszlást, ami egy nem-negatív valószínűségi változó folytonos valószínűségi eloszlása.

A BUR-modell a következő:

$$Y = LS + (US - LS)[1 + e^{-k(T-T_0)}]^{-m} \quad (6)$$



4. ábra: Példa az AHT átmeneti görbére, ahol D < 0

ahol az utolsó tag, az a tényleges BURR-eloszlás.

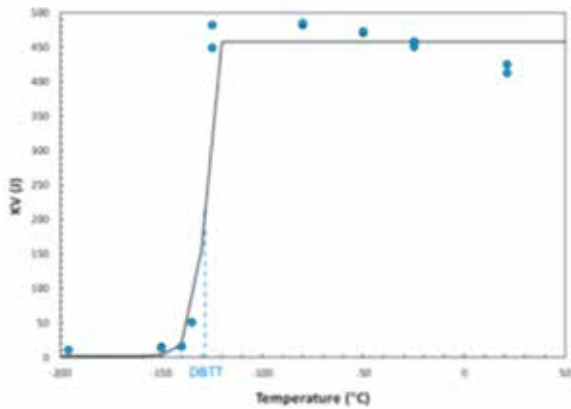
Az LS és az US mellett a regressziós eljárással meghatározandó paraméterek a következők:

- k, az eloszlás skálaparamétere ($k \geq 0$);
- m, az eloszlás alakparamétere ($m \geq 0$);
- T₀ (°C), egy helyparaméter, amely meghatározza a görbe helyzetét a hőmérsékleti tengely mentén, és általában nem felel meg a DBTT-nek.

A BUR átmeneti görbére egy példa látható az 5. ábrán.

1.2.4 Arcus tangens modell, ACT – Symmetric [1]

J. Kohout egy viszonylag egyszerű regressziós modellt javasolt a széles körben népszerű HT-modell alternatívájaként. A modell az arcus tangens trigonometrikus függvényen alapul, a következő formában:



5. ábra: Példa a BURR átmeneti görbére

$$Y = \frac{LS+US}{2} + \frac{US-LS}{2} * \arctan\left(\frac{\pi}{2C}(T - DBTT)\right) \quad (7)$$

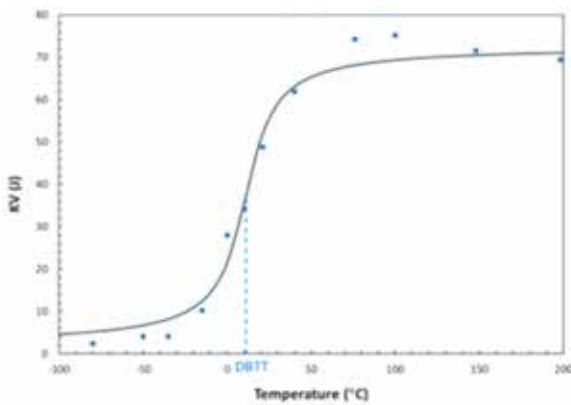
ahol a C- és a DBTT-paraméterek jelentése ugyanaz, mint a HT-modellnél.

1.2.5 Aszimmetrikus Kohout-modell

– Asymmetric KHT [1]

Egy másik regressziós modell, amelyet J. Kohout a 2012-es jelentésében javasolt, egy aszimmetrikus modell, amely a következő „kétrészes” formájú:

$$Y = LS + \left(\frac{US-LS}{1+p}\right) * e^{\frac{1+p}{2C}(T-T_0)} \quad T \leq T_0 \quad (8)$$

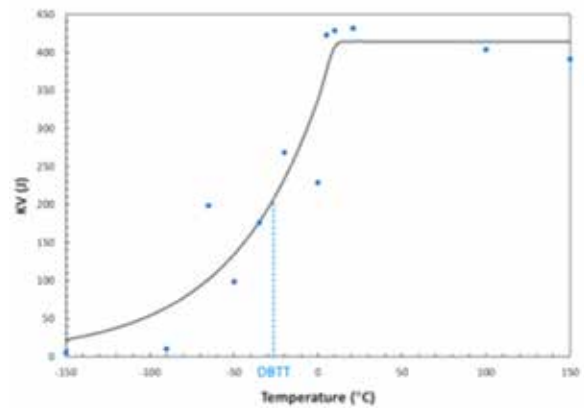


6. ábra: Példa az ACT átmeneti görbére

$$Y = LS - p \left(\frac{US-LS}{1+p}\right) * e^{\frac{1+p}{2C}(T-T_0)} \quad T > T_0 \quad (9)$$

Itt „p” az aszimmetria paramétere, és megfelel a regressziós görbe görbületei közötti aránynak a felső és az alsó átmeneti tartományban (ha $p > 1$, a görbület az alsó átmeneti tartományban nagyobb, mint a felső átmeneti tartományban).

A BUR-modellhez hasonlóan a T_0 a görbe helyparamétere az x tengelyen, és általában nem felel meg a DBTT értékének. A C viszont ugyanazt jelenti, mint a HT-, AHT- és ACT-modelleknél.



7. ábra: Példa az KHT átmeneti görbére

1.2.6 Egyéb regressziós modellek

Más irodalmi források a fentiekől eltérő regressziós modelleket használnak, ezek közül megemlítnék néhányat:

- exponenciális görbék,
- hibafüggvények,
- Boltzmann-eloszlás,
- Weibull-eloszlás,
- Avrami-egyenleten alapuló modell. [1]

2. MÉRÉSEK ÉS MODELLEK

2.1 NIST [1]

A National Institute of Standards and Technology (NIST) 1901-ben alakult, jelenleg az Egyesült Államok Kereskedelmi Minisztériumának része, az USA egyik legrégebbi fizikai tudományos laboratóriuma. Elsősorban méréssel, mérési technológiák kidolgozásával és szabványosítással foglalkozik.

A NIST oldalán több programmodul található az ütéseredmények grafikus ábrázolására és nem-lineáris regressziós görbék illesztésére. A felhasználó a saját mérési eredményeire el tudja végezni az 1. pontban tárgyalt modellezést a NIST szoftvereinek segítségével.

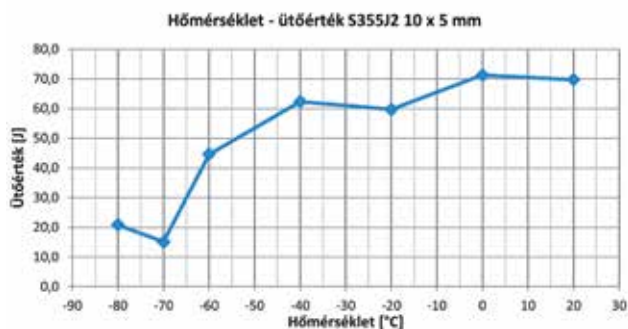
Az alkalmazások közül mi az MS Excel-ben [9] megírt programjukat választottuk, ezek eredményeit ismer-tetjük.

2.2 Próbatetek gyártása

A próbatetek-sorozatokat négy, eltérő időpontban fellelhető alapanyagból gyártottuk. Három sorozat anyaga S355J2 minőségű volt, a negyedik HARDOX® 450. Az alapanyagok kémiai összetételét és ahol lehetett, szakítóvizsgálatát is elvégeztük.

2.3 S355J2 minőségű acéllemez vizsgálata [10]

Elsőként 6 mm vastagságú táblalemezből munkáltunk ki próbatesteket. Az ütőértékek átlaga szerepel a **8. ábrán**. Az **1. táblázat** tartalmazza a lemez kémiai összetételét tömegszázalékban és a szakítóvizsgálati eredményeit.



8. ábra: S355J2 10x5 mm ütőérték-átlagok

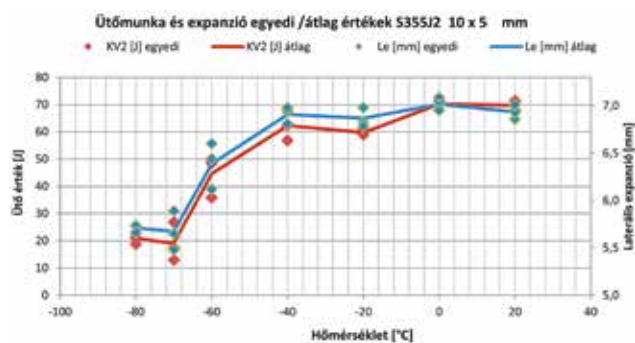
S355J2	C%	Mn%	Si%	S%	P%	Cu%	Cr%
	0,174	0,558	0,226	0,010	0,011	0,154	0,101
	Ni%	Al%	Mo%	Nb%	V%	Ti%	N%
	0,043	0,047	0,009	<0,001	0,002	0,021	0,0031
R _{eH}	R _m	A ₅					
MPa	MPa	%					
365	484	32,9					

1. táblázat: Kémiai összetétel tömegszázalékban és mechanikai eredmények

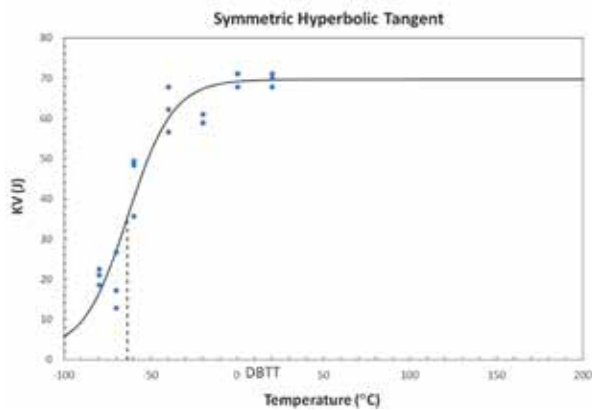
A laterális expanzió és az ütőérték egyedi és átlagolt értékeit tartalmazza a **9. ábra**. A két diagram alakja jól egyezik egymással, természetesen a függőleges léptékek eltérnek.

A NIST Excel- [1] alkalmazásának eredménye a **10. ábrán** látható.

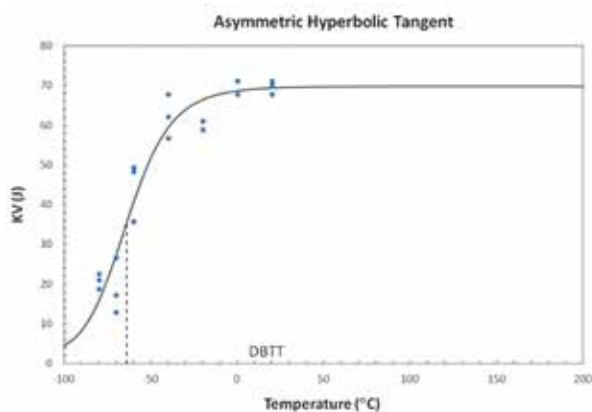
Négy számítási modell adott értékelhető eredményt az eredménySORra, mind a négy hasonló átmeneti hőmérsékletet határozott meg, ezek -62,03 °C és -63,56 °C közötti értékek.



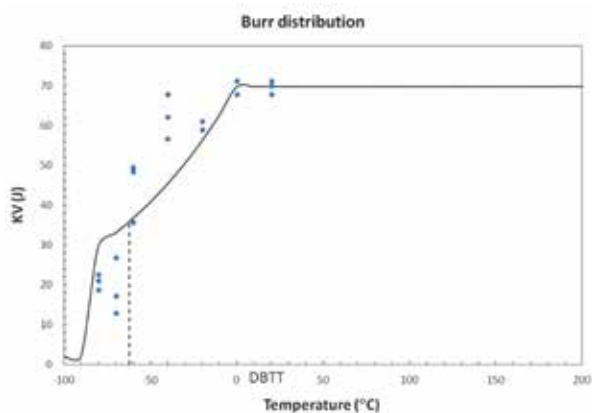
9. ábra: S355J2 ütőérték egyedi értékek és átlagok, laterális expanzió értékei



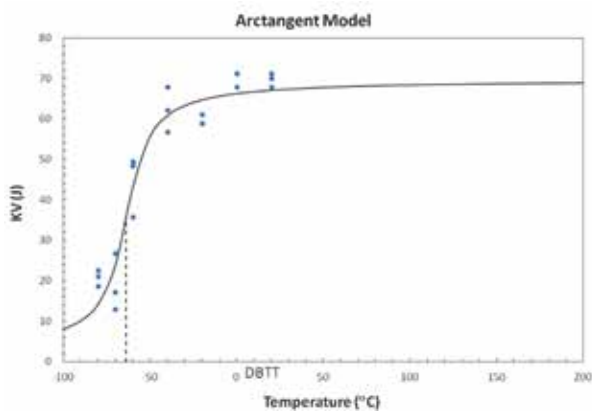
HT: DBTT = -63,18 °C



AHT: DBTT = -63,56 °C



BURR: DBTT = -62,03 °C



ACT: DBTT = -63,55 °C

10. ábra: S355J2 ütőértékek HT-, AHT-, BURR- és ACT-modelljei

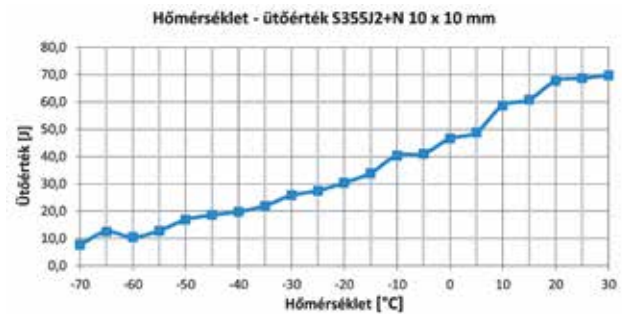
2.4 S355J2+N minőségű acéllemez vizsgálata [10]

A második vizsgálati sorozatunkhoz S355J2+N típusú, 18 mm vastagságú lemezt kaptunk. A lemezből 10x10 mm méretű, szabványos ütő próbatesteket készítettünk. Kémiai összetétele és szakítóvizsgálati eredménye a 2. táblázatban szerepel.

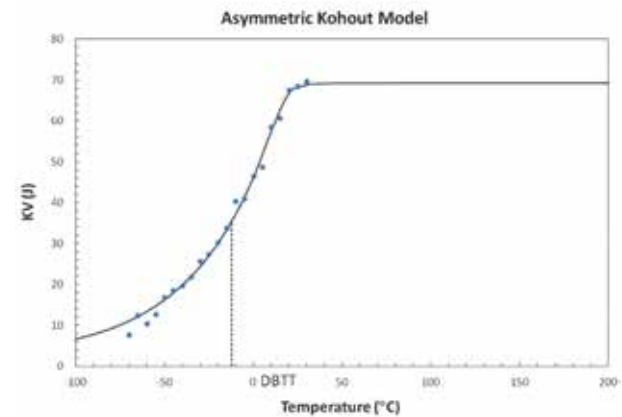
S355J2+N	C%	Mn%	Si%	S%	P%	Cu%	Cr%	
	0,15	1,34	0,16	<0,004	0,013	0,18	0,10	
	Ni%	Al%	Mo%	Nb%	V%	Ti%	N%	
	0,11	0,021	0,019	<0,001	0,047	<0,001	0,0050	
R _{eH} MPa	R _m MPa	A ₅ %						
395	544	27,0						

2. táblázat: Kémiai összetétel tömegszázalékban és mechanikai eredmények

A 11. ábrán a mérési eredmények átlaga látható. A 12. ábrán négy modell -16 °C és -18 °C közötti értékre határozza meg az átmeneti hőmérsékletet, a 13. ábrán szereplő ötödik modell eredménye eltér ezektől, -12 °C.

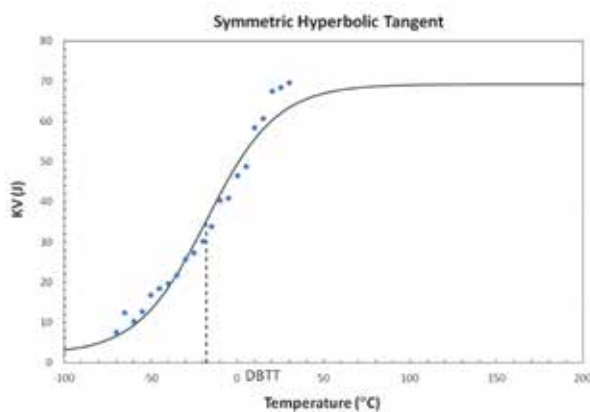


11. ábra: S355J2+N ütőérték átlagok

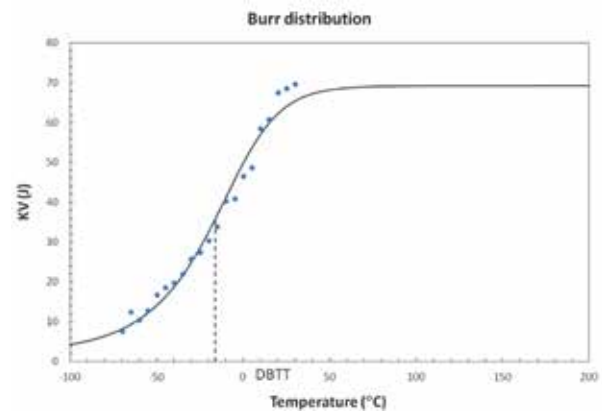


KHT: DBTT = -11,99 °C

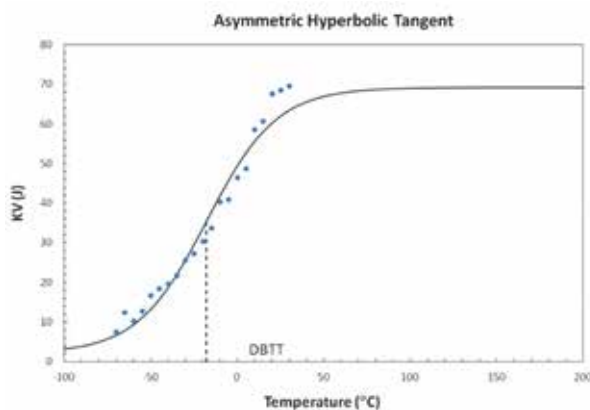
13. ábra: S355J2+N ütőértékek KHT modellje



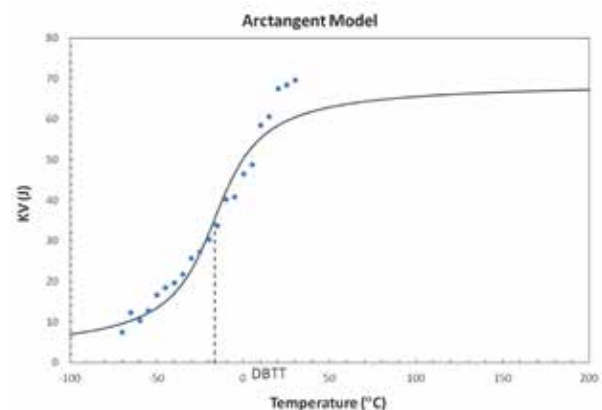
HT: DBTT = -17,58 °C



BURR: DBTT = -16,19 °C



AHT: DBTT = -17,58 °C



ACT: DBTT = -16,43 °C

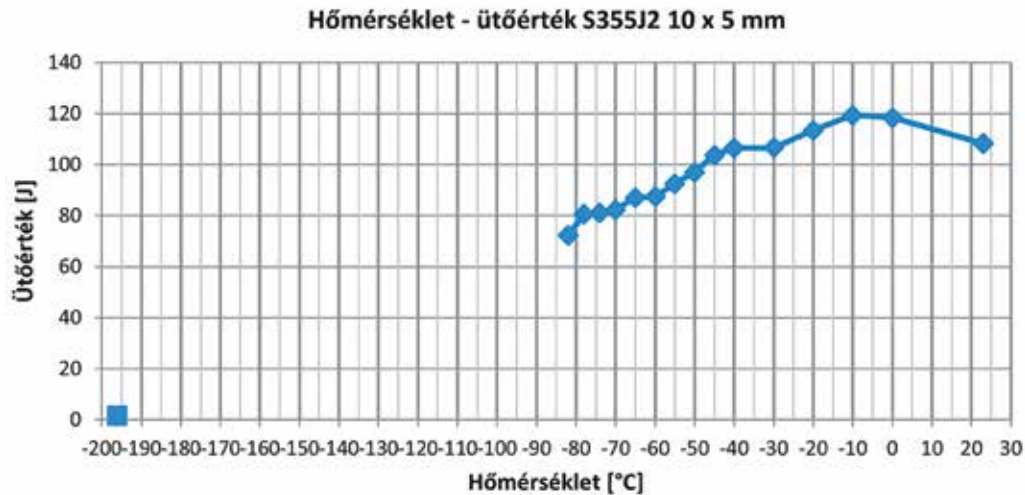
12. ábra: S355J2+N ütőértékek HT-, AHT-, BURR- és ACT-modelljei

2.5 S355J2 minőségű acéllemez vizsgálata [10]

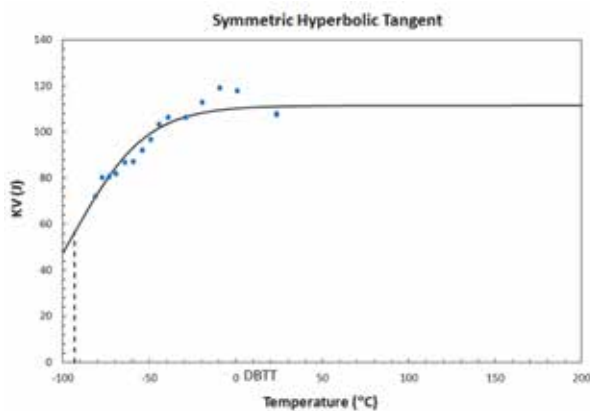
A harmadik vizsgálati sorozatunkhoz S355J2 típusú, 6 mm vastagságú lemezt választottunk. A lemezből 10x5 mm méretű, szabványos ütő próbatesteket készítettünk. Kémiai összetétele, szakítóvizsgálati eredménye a 3. táblázatban, az ütőértékek diagramja a 14. ábrán látható.

S355J2	C%	Mn%	Si%	S%	P%	Cu%	Cr%
	0,14	0,90	0,19	0,012	0,012	0,33	0,07
	Ni%	Al%	Mo%	Nb%	V%	Ti%	N%
0,19	0,020	0,044	<0,001	0,040	0,002	0,012	
R_{mH} MPa	R_m MPa	A_5 %					
424	497	30,9					

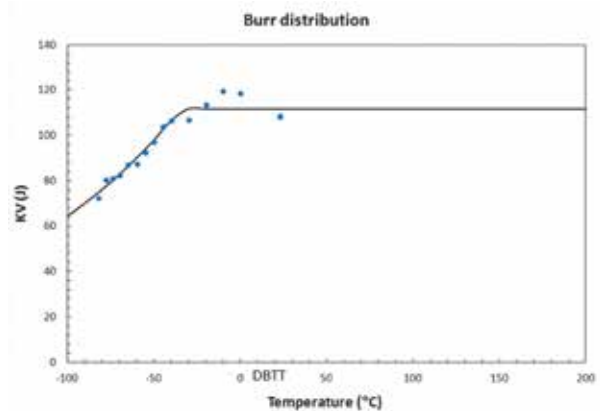
3. táblázat: Kémiai összetétel tömegszázalékban és mechanikai eredmények



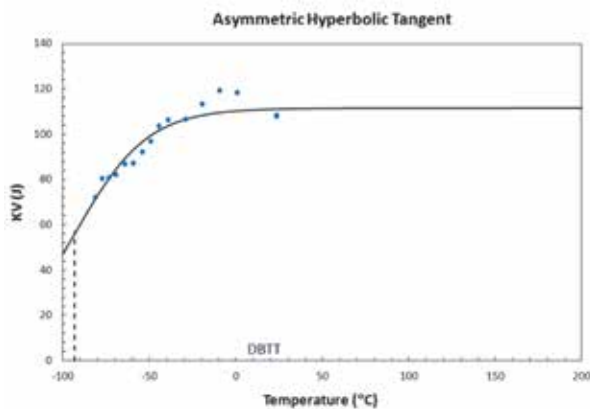
14. ábra: S355J2 ütőérték-átlagok



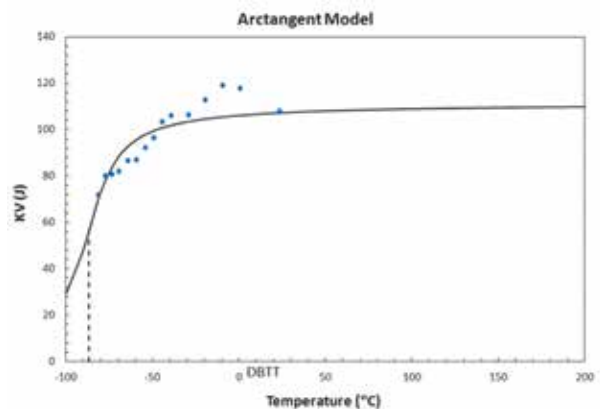
HT: DBTT = -93,17°C



BURR: DBTT = -115,05°C

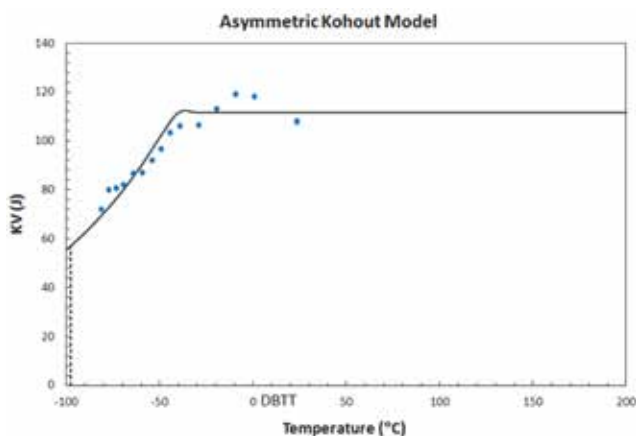


AHT: DBTT = -93,17°C



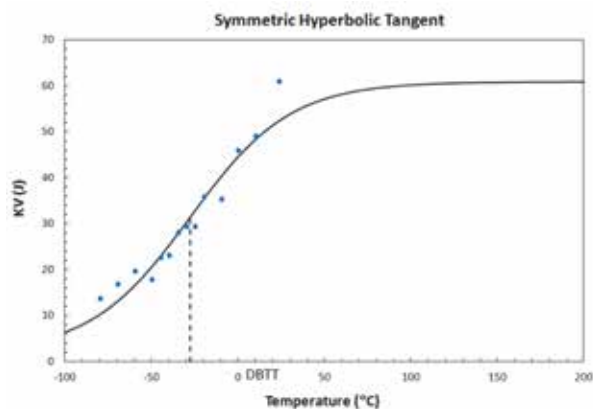
ACT: DBTT = -86,71°C

15. ábra: S355J2 ütőértékek HT-, AHT-, BURR- és ACT-modelljei

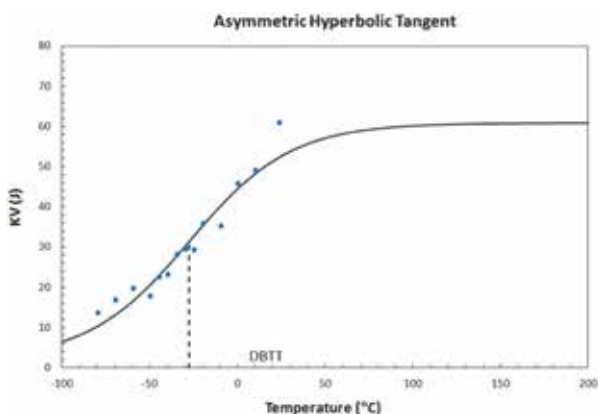


KHT: DBTT = -97,92°C

16. ábra: S355J2-ütőértékek KHT-modellje



HT: DBTT = -27,73°C



AHT: DBTT = -27,73°C



17. ábra: HARDOX® 450 ütőérték-átlagok

A meghatározott átmeneti hőmérsékletek a -115 °C és -87 °C közötti tartományba esnek.

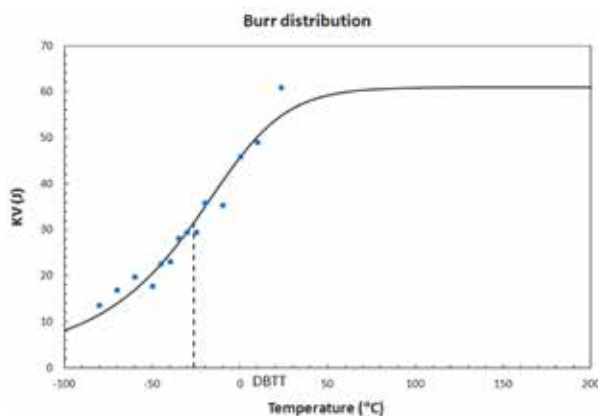
2.6 HARDOX® 450 minőségű acéllemez vizsgálata [11]

A negyedik sorozatunk HARDOX® 450 típusú, 10 mm vastagságú lemez volt. A lemezből 10x10 mm méretű, szabványos ütő próbatesteket készítettünk. Kémiai összetétele a 4. táblázatban látható.

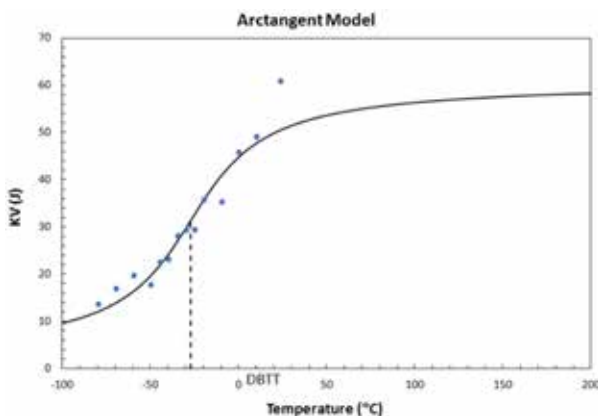
HARDOX® 450	C%	Mn%	Si%	S%	P%	Cu%	Cr%
	0,13	0,78	0,75	<0,004	0,007	0,21	0,41
	Ni%	Al%	Mo%	Nb%	V%	Ti%	N%
	0,22	0,048	0,15	<0,001	0,002	0,020	0,0044

4. táblázat: Kémiai összetétel tömegszázalékban és mechanikai eredmények

Az ütővizsgálati méréseket -80 és +23 °C tartományban végeztük. A mérési eredményeket a szokásos módon a NIST alkalmazásában megvizsgáltuk. Az átmeneti hőmérsékletet -23°C és -28°C közé határozták meg a modellek, ezek láthatók a 18-19. ábrán.

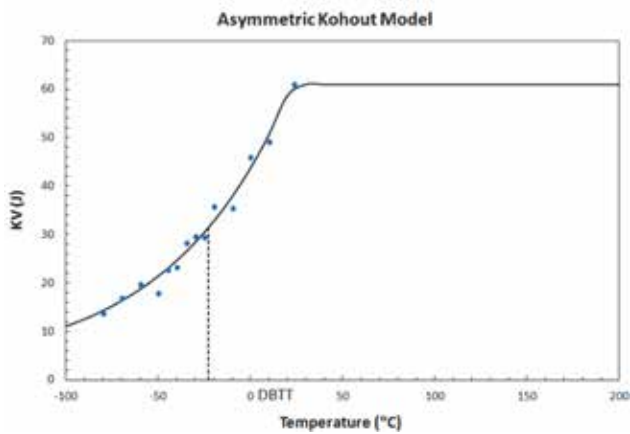


BURR: DBTT = -26,39°C



ACT: DBTT = -27,07°C

18. ábra: HARDOX® 450 ütőértékek HT, AHT-, BURR- és ACT-modelljei



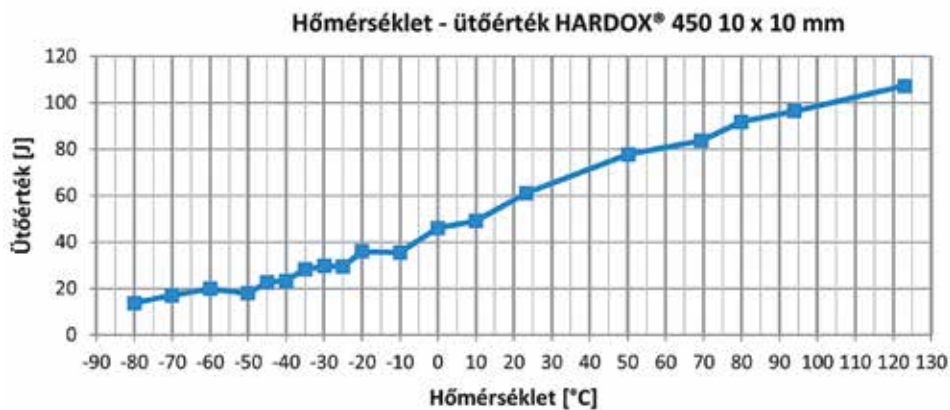
KHT: DBTT = -22,66 °C

19. ábra: HARDOX® 450 ütőértékek KHT-modellje

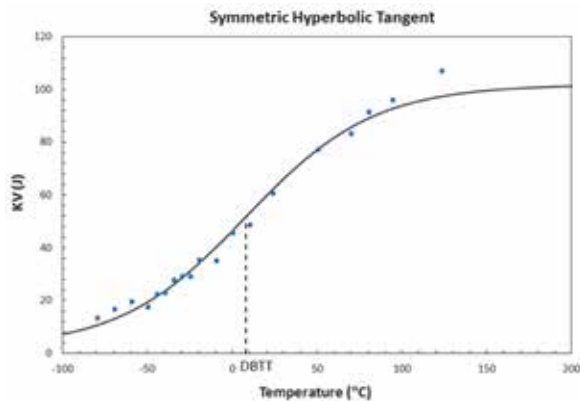
2.7 Bővített vizsgálat

A rendkívül ritka alapanyag miatt a negyedik sorozatunk vizsgálati mennyiségét (2.6 pont HARDOX® 450 T= -80 °C - +23°C) tovább bővítettük. Több mérési pontot szerettünk volna kapni a pozitív hőmérsékleti tartományban, ezért a próbatesteket a szobahőmérséklet feletti (fűtött) állapotban is vizsgáltuk. A kiegészítő méréseket egészen +123 °C-ig végeztük el, az összes eredmény átlagát ábrázoltuk, ez látható a 20. ábrán.

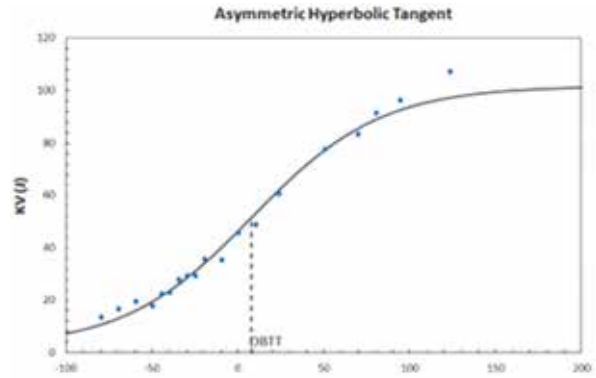
A mérési eredményeket ismét beírtuk a NIST-alkalmazásba. Az átmeneti hőmérsékletet +7 °C és +13 °C közé határozták meg a modellek, ezek láthatók a 21-22. ábrán.



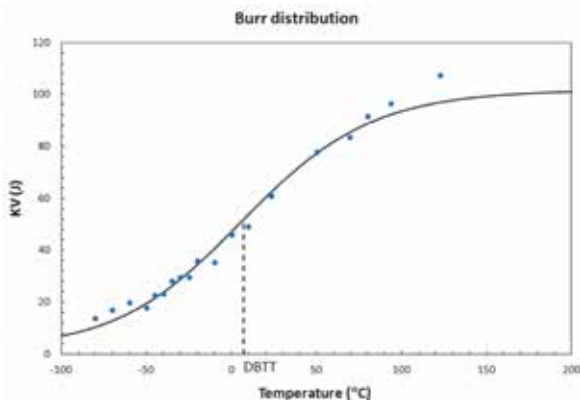
20. ábra: HARDOX® 450 ütőérték-átlagok



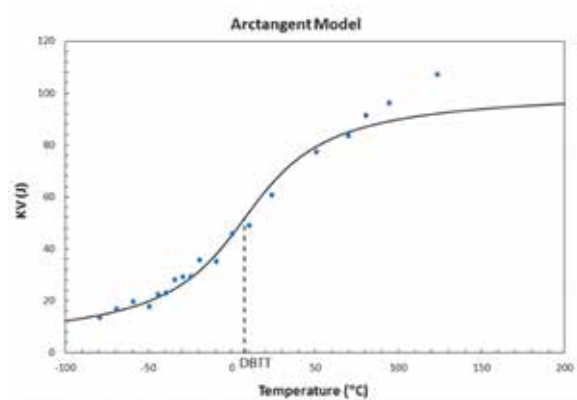
HT: DBTT = 8,13°C



AHT: DBTT = 8,13°C

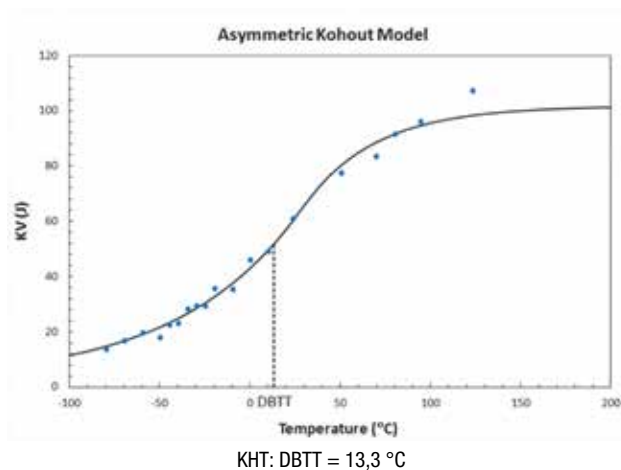


BURR: DBTT = 7,26°C



ACT: DBTT = 7,63°C

21. ábra: HARDOX® 450 ütőértékek HT, AHT-, BURR- és ACT-modelljei

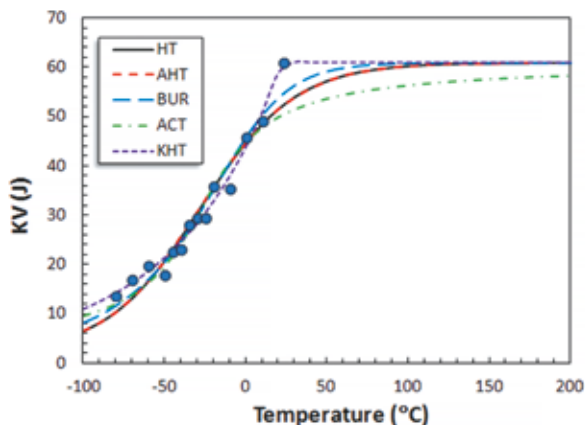


22. ábra: HARDOX® 450 ütőértékek KHT-modellje

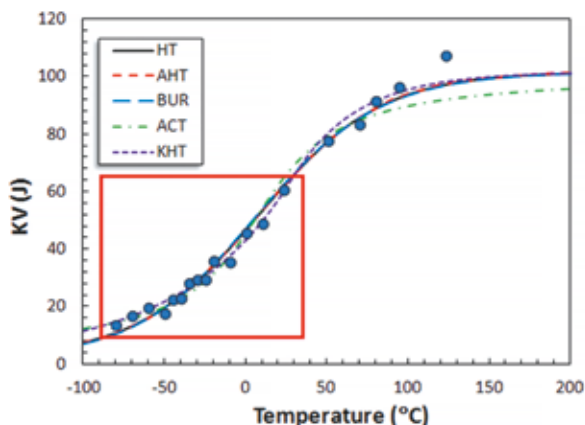
2.8 ÖSSZEHAISONLÍTÁS

A 2.6 és 2.7 pontban tárgyalt mérési sorozatokat összehasonlítottuk. A modellek a több mérési pont esetén eltérő értékű regressziós görbéket határoztak meg, mint a kevesebb mérési pontnál, ez az eltérés jól látható a 23. és 24. ábrán.

Az eltérő görbék eredménye az eltérő értékű DBTT. A két sorozatban máshová határozódott meg az átmeneti hőmérsékletek, az egyiknél jellemzően -28°C , a másiknál $+8^{\circ}\text{C}$ volt az eredmény.



23. ábra: Eredmények $+23^{\circ}\text{C}$ -ig



24. ábra: Eredmények $+123^{\circ}\text{C}$ -ig

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A nemzetközi szakirodalom egy részének bemutatásával – reméljük – sikerült egy általánosabb képet adni a szívós–rígdeg átmeneti hőmérsékletről és annak néhány modelljéről. A modellek használata helyett az anyag megfelelőségre az ISO 148-1 vizsgálati szabvány „D”-melléklete minimum határok rögzítését javasolja az ütőértékre, az expanzióra vagy a szívós töretarányra, amit az anyagminőség függvényében célszerű szállítási feltételként előírni. [4]

Az azonos alapanyag szűkebb vagy bővebb mérési eredménySORAI alapján a modellek eltérő eredményeket számolnak, ez jól látható a 2.6 és 2.7 pontban. Az ideálisan sok mérési pontra végzett regresszió eredménye jelentősen eltér és eltérhet a kevés mérési pontra végzett számításoktól. A modelleket éppen a kevés mérésből következtethető anyagtulajdonság miatt alkották meg, így elgondolkodtató a modellek által meghatározott eredmények bizonytalansága és felhasználhatósága.

HIVATKOZÁSOK

- [1] National Institute of Standards and Technology (NIST) www.nist.gov/programs-projects/charpy-machine-verification-program
- [2] Oldfield, William, „Fitting Curves to Toughness Data,” Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 7, No. 6, Nov. 1979, pp. 326-333.
- [3] Fitting curves and impact toughness transition temperature of quenched and tempered steel welds: ISSN 2303-4521
- [4] MSZ EN ISO 148-1:2017 Fémek. Charpy-féle ütővizsgálat. 1. rész: Vizsgálati módszer
- [5] DeepL Translate: [deepl.com](https://www.deepl.com)
- [6] Free Online OCR: [onlineocr.net](https://www.onlineocr.net)
- [7] Sigmoid függvények: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Sigmoid>
- [8] Dr. Tóth László: A törésmechanika és az anyagvizsgálat története
- [9] Microsoft Corporation
Microsoft Excel: <https://office.microsoft.com/excel>
- [10] MSZ EN 10025-2:2020 Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból. 2. rész: Ötvöztetlen szerkezeti acélok műszaki szállítási feltételei
- [11] HARDOX® 450: SSAB
– Svédország: <https://www.ssab.com>
- [12] Diszlokáció: <https://idegen-szavak.hu/>
<https://hu.wikipedia.org/wiki/diszlok>

ACÉLINNOVÁCIÓ

Az acélra támaszkodhatunk.
Együtt megtaláljuk a fenntartható megoldásokat.



Az acéltermékek alkalmazása
segít más iparágakat abban, hogy csökkentsék ökológiai lábnyomukat.

HOSSZABB ÉS ERŐSEBB HIDAK

A nagyszilárdságú acélokból hosszabb és erősebb hidakat építhetünk, amelyek lerövidítik a szállítási útvonalakat és nagyobb súlyok szállítását teszik lehetővé. A rövidebb szállítási idő és távolság csökkenő üzemanyag-felhasználást, és ezáltal kisebb CO₂-kibocsátást jelent.

Az Egyesült Államokban található Copper folyó hídja a Mount Pleasant és Charleston közötti 39 km-es útszakaszt 11,6 km-re rövidíti, ezáltal CO₂-egyenértéken kifejezve 167 000 tonna kipufogógázt takarítanak meg a járművek évente. A híd élettartamára vetítve, CO₂-egyenértéken kifejezve mindez 16,7 millió tonna megtakarítást jelent a jelenlegi átlagos üzemanyag-fogyasztás és gépjárműtervezési alapelvek mellett.

Ausztráliában a Sydney-öböl hídja már több mint 80 éve áll. Azáltal, hogy a Cammeray és Sidney közötti távolság így 17,6 km helyett 7 km-re redukálódik, ez alatt a 80 év alatt a teljes CO₂-megtakarítás 11,85 millió tonnára tehető.

Ausztráliában a Sydney-öböl hídja



Az acél lehetővé teszi, hogy a hidak még hosszabbak legyenek. Több mint 20 olyan híd található világszerte, amelyek hossza meghaladja a 25 kilométert. A világ leghosszabb hídja a kínai Danyang-Kunshan Grand Bridge, amely 165 km hosszú.

A japán Akashi Kaikyo híd a világ leghosszabb függőhídja a maga 3,9 kilométeres hosszával. A híd képes ellenállni 286 km/órás szélsebességnek, illetve a Richter-skála szerinti 8,5-ös erősségű földrengésnek is. A hídon mintegy 23 ezer jármű közlekedik naponta.

A kínai Danyang-Kunshan Grand Bridge





HOGYAN SEGÍTIK A FENNTARTHATÓ KÖZLEKEDÉS ELTERJEDÉSÉT A NAGY SZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK?

A Steel E-Motive nevű projekt – amely a WorldAutoSteel és a Ricardo együttműködésében valósul meg – célja, hogy demonstrálja a legújabb AHSS-ötvözetek használatának létjogosultságát az MaaS (mobility as a service - mobilitás, mint szolgáltatás) közlekedési modellben, ami gyakorlatilag a teljesen autonóm elektromos járművek használatát jelenti a tömegközlekedésben.



Fordította: HORVÁTH MÁRTON Forrás: worldsteel

A WorldAutoSteel szakértői, valamint a Ricardo vállalat mérnökei és környezeti szakértői közösen dolgoznak két koncepciójármű kifejlesztésén: a SEM1 egy négyszemélyes autót takar, amely kisebb, városon belüli utakra lenne optimalizálva, a SEM2 pedig egy nagyobb, hatszemélyes jármű, melyet hosszabb, városok közti utazásokra lehetne használni.

Ezek a nagy részben AHSS-acélötvözetekből készült koncepcióautók a tervek szerint 2023 elején már készen

állnának arra, hogy az autógyártók számára példát mutassanak, és ezek a gyártók elkezdhessek fenntartható, autonóm elektromos autókat tervezni, melyek alapanyagául a nagy szilárdságú acél szolgálna.

Amennyiben az önvezető autókat egy MaaS-moddell alapján alapuló car-sharing rendszerben hasznosítjuk, a már meglévő tömegközlekedési szolgáltatásokkal együtt talán megoldást kínálhatnak a napjainkban egyre égetőbbé váló problé-



mák egyikére, ami nem más, mint a folyamatosan növekvő népesség.

Amennyiben a car-sharing elterjed a mindennapi használatban, az utakról eltűnhetnek az olyan gépjárművek, amelyekben mindössze egy vagy két ember ül. Ezáltal csökken az utakat terhelő forgalom, a torlódások és forgalmi dugók eltűnnek, biztosítva a lehetőséget az utasszám és az utazások számának növekedésének. A Steel E-Motive-projekt hatékonyan mutatja be az AHSS-ötvezetekben rejlő lehetőségeket, így prezentálva a felhasználóknak olcsó és biztonságos alternatívákat a gépkocsihasználatra.

A közlekedés környezeti kihívásaira a jövő városaiban találunk megoldást

A SEM1 és a SEM2 is teljes mértékben elektromos. Ez a tulajdonság hozzájárul, hogy a városokban keletkező szmog mértékét jelentősen csökkentjük. Emellett a cél az, hogy a járművek töltéséhez használt áram is fenntartható energiaforrásokból származzon (pl. szél- vagy napenergia). A járművek tervezésekor ügyeltek arra, hogy az autók egész életciklusuk alatt a lehető legkörnyezetbarátabb módon üzemeljenek. A gyártáskor is nagy hangsúlyt fektetnek az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. Az acél használata egyúttal azt is jelenti, hogy a strukturális elemek gyártásakor kevesebb káros anyag keletkezik, mint egyéb alapanyagok felhasználásával.

A járműbiztonság kérdése

Amennyiben a jövőben az önvezető autók elterjedése megkezdődik, a korai időszakban a sofőrrel rendelkező járművekkel együtt járnak majd az utakat. Ez magában rejt egy nagy sebességű ütközés veszélyét, legyen szó egy másik járműről vagy pedig bármiféle akadályról. A sérülések elkerülésének érdekében a SEM1 és SEM2 járművek tervezése során ügyeltek rá, hogy az autók megfeleljenek az olyan nemzetközi törésszabványokra is, mint például az európai NCAP-tesztek. Ez újabb és újabb acélötvözetek fejlesztését eredményezte, hogy ily módon legyen költséghatékony a járművek gyártása, miközben optimális súlyt és komfortot kapunk eredményül.

A kereslet kérdése

A Steel E-Motive járműveit a jövő vásárlói igényeinek figyelembevételével tervezték. A komfortérzet növelésének érdekében a zajt és a rázkódást is a minimumra csökkentették. A karosszéria tervezésénél kiemelt hangsúlyt helyeztek a ki- és beszállás akadálymentesítésére is, így a lapos padlózat lehetőséget nyújt a kerekesszékek közlekedés számára is, valamint a tágas, két irányba nyíló ajtók lehetővé teszik, hogy zsúfolt városi környezetben is egyszerű legyen a ki- és beszállás. Mindkét jármű rendelkezik összerék-kormányzással, ami a szűk helyeken való navigálást könnyíti, így olyan városokban is dinamikus és biztonságos a közlekedés, ahol emberek tömegei haladnak egész nap.

A Steel E-Motive-projekt iránymutató lesz a jövő autógyártói számára, és segít abban, hogy a tömegközlekedés fejlesztésén keresztül fenntartható módon csökkentjük a környezetünk terhelését.

Energiaellátási helyzetkép az európai energiapolitika tükrében

„A neheze még hátravan...”

Csermely Ágnes 2022.06.30.

Az Európai Unió 2050-re tűzte ki a karbonsemleges gazdaság elérésének céldátumát. A klímaváltozásért felelősnek tartott fosszilis energiahordozó-felhasználás csökkentése, vagy elkerülése összetett, intenzív kutatásfejlesztési tevékenységet igénylő feladat, az ennek során keletkező hozzáadott érték fogja az EU gazdasági növekedésének háttérét biztosítani. A 2021-es Zöld Megállapásban (az energetikát is tartalmazó) rögzített alapelvek kétségkívül előremutatók, ám az időközben zajló geopolitikai események rögtön rávilágítottak azok hibáira, hiányosságaira is. A következő írás azt vizsgálja, hogy az EU kijelölt energiapolitikája alkalmas-e a válság kezelésére, és melyik pontjai mentén lehet hatékonyan beavatkozni a válsághelyzet megelőzésére, elhárítására.

EURÓPAI ENERGIAPOLITIKA – TÖRTÉNET ÉS IRÁNYVONALAK

Az Európai Unió (EU) azért jött létre, hogy az európai nemzetállamok közötti adminisztratív korlátok lebontásával, egységes belső piac – melynek 1999 óta része az energiapiac is – megteremtésével hozza létre a világ legversenyképesebb gazdasági közösségét.

A vezetékes energiahordozó-piac liberalizációjának korai lépései ellenére az EU a 2005-ös londoni megállapodás létrejöttéig nem rendelkezett közös energiapolitikával. Az energiapolitika alapelvei a következők:

- Energiabiztonság: az energiahordozók folyamatos elérhetőségét (szó szerinti fordításban: megszakítások nélküli elérhetőségét) jelenti, megfizethető árak mellett;
- Energiahatékonyság-növekedés: egységnyi energiával előállítható termelési érték. Hányadosról van szó, a növekedése nem eredményez szükségszerűen energiafelhasználás-csökkenést;
- Belső energiapiacok: az európai energiafelhasználók megkülönböztetésmentesen, versenypiacokon való hozzáféréssel szerezhessék be a működésükhöz/életükhöz szükséges energiahordozókat;



- Innováció: az elérendő célokhoz szükséges technológiák kifejlesztése;
- Dekarbonizáció: a gazdaság termelési folyamataihoz, mobilitáshoz, szállítási feladatokhoz, valamint a villamosenergia-termeléshez szükséges fosszilis energiahordozók kiváltása, klímaváltozást okozó gázok kibocsátásának csökkentése.

Az EU energiapolitikája olyan szakpolitikai terület, amely tekintetében az EU és a tagállam megosztott hatáskörrel bír, vagyis elfogadott közös iránymutatás alapján önállóan alkotja meg a saját energiapolitikáját. „Az adott tagállam az iránymutatásoknak megfelelően alakítja ki saját energiahordozó-mixét, választja ki kereskedelmi partnereit, vagy halad az egységesen megfogalmazott célok felé.”

Az idő előrehaladtával az EU egyre inkább a klímavédelmi célokkal formálta az egységes energiapolitikát. Ennek megfelelően:

- 2008-ban elfogadták a 2020-as klíma- és energiacsomagot, amely három célt fogalmazott meg:
 - o az üvegházhatást okozó gázok 20%-os csökkentését,
 - o az Unió végső energiafogyasztásának 20%-a megújulókból kell, hogy származzon,
 - o a végső energiafogyasztást 20%-kal csökkenteni kell (a 2007-es és 2009-es előrejelzéshez képest).
- 2014-ben kiterjesztették a célrendszert 2030-ig: 40% CO₂-csökkentés, 27% megújuló részarány, 27% energiafelhasználás-csökkentés.)

- 2016-ban elfogadták a „Tiszta energia minden európainak” CEP- (Clean Energy Package) csomagot, amely az EU energiahordozó-mixéből a fosszilis tüzelőanyagok kivételét fogalmazza meg elsődlegesen a megújuló energiaforrások részarányának növelésével, illetve az energiahatékonyság fokozásával, valamint a villamosenergia fogyasztók nagyobb szerepvállalásával, ahol az energiafelhasználó termelő is lehet (prosumer), sőt részt vehet a rendszer szabályozásában is (DSR – felhasználás-oldali szabályozás). Az új szabályozásban különösen fontos a fogyasztók szerepe, amikor az időjárásfüggő megújuló termelés változékonysága olyan egyensúlytalanságot okoz, amelyet fogyasztásnöveléssel-csökkentéssel lehet megoldani.
- 2021-ben megszületett az Európai Zöld Megállapodás (1. ábra), amely az EU 2050-re megfogalmazott klímapolitikai céljának (karbonsemleges európai gazdaság) elérésére alkotott stratégia. A célok valóra váltását az „Írány az 55” jogalkotási csomag hivatott biztosítani. Az EU a világgazdasági hatalmát a klímabarát gazdaság kiépítésével, az abból származó GDP-növekedés segítségével szeretné fenntartani.

2015-ben létrejött az Energiaunió, ami a korábbi intézkedésekben kimondott elveken felül felhatalmazást ad az Európai Bizottságnak, hogy energiahordozó-szállításokról tagállami hatáskörökön felül tárgyaljon.

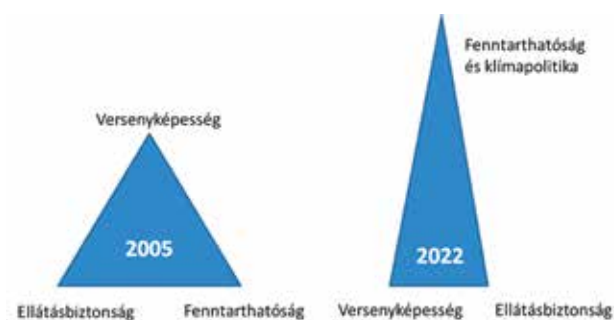


1. ábra: Az Európai Zöld Megállapodás keretrendszere [2]

„Az EU integráltabb, versenyképesebb energiapiacot (ún. energiauniót) kíván létrehozni annak érdekében, hogy az energiaellátás biztonságos legyen, az energiaárak pedig megfizethetők maradjanak. Az Unió ezen túlmenően támogatja a megújuló energiaforrások kiaknázását és az energia hatékony felhasználását, elősegítve ezáltal az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését.” [1]

2022 tavaszán az energia-válsághelyzet előrevetülése miatt rekordidő alatt született meg a RePowerEU javaslatcsomag a zöld átmenet felgyorsítására, az energiamegtakarítás ösztönzésére, valamint a forrásdiverzifikálásra. A csomag elsődleges célja a közép- és hosszútávú függetlenedés az orosz vezetékes energiahordozótól, a földgáztól.

Az évtizedek során a felhasználó/fogyasztóbarát energiapolitika átalakult: a szabályozási keretrendszer a klímabarát energiafelhasználás/termelés felé helyezte a hangsúlyt. Az alábbi, **2. ábra** mutatja, hogy a 2000-évek elején az energiapolitika a versenyképesség-fenntarthatóság-ellátásbiztonság hármas célrendszerének kb. egyenlő arányában kívánt megfelelni, míg 2022-re a klímaközpontú fenntarthatóságot részesíti előnyben, „elhanyagolva” a versenyképességet és az ellátásbiztonságot.

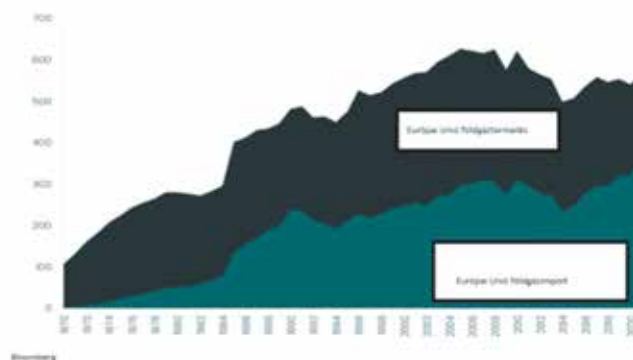


2. ábra: Súlyponteltolódás az EU energiapolitikájában

A súlyponteltolódásnak meglett a következménye: mivel a klímaváltozást okozó gázkibocsátásért elsődlegesen a fosszilis energiahordozók hasznosítását tették felelőssé, egyszerűbbnek látták az energiahordozók teljes kivételét, mint a klímabarát felhasználásukat, vagy valamiféle egészséges hasznosításukat. Az energiapolitika innovációs célja pedig a megújuló, vagy legalábbis fosszilis (és nukleáris) tüzelőanyagoktól különböző technológiák kutatására irányult.

SÚLYPONTELTOLODÁS: FÖLDGÁZFÜGGŐSÉG

A **3. ábra** mutatja az EU földgázfüggésének változását 1970-től. Látható, hogy az EU földgázfelhasználása az elmúlt öt



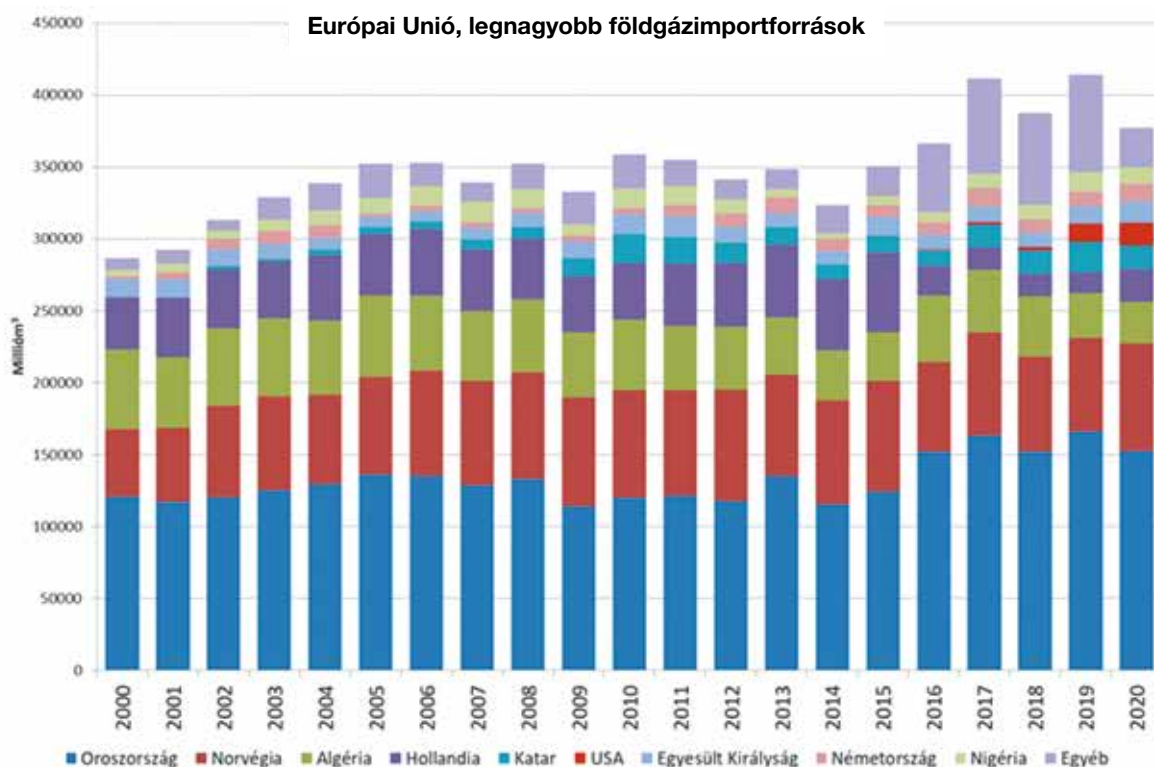
3. ábra: Európa földgázfüggésének növekedése 1970-től [3]

évtizedben megötszörözött. A kezdeti közel önellátás 1984-től változik meg – az import dinamikusan nő.

A földgáz szerepe felértékelődött az energiatermelési mixben. Mivel nagy mennyiségben előfordul, jó tüzeléstechnikai jellemzőkkel bír (hasznosításával, tüzelésével nem kerül túlzó mértékű CO₂ a levegőbe), fejlett hasznosítási technológiával (gázturbinás, gyors reagálási, szabályozható erőművek), a földgáz lett az energiahordozók „menekülővalutája” az energiamixben. Ha az időjárásfüggő termelők nem termeltek, földgáztüzelésű blokkokkal pótolták a kiesést. Ha egy adott országban nemkívánatosá vált a nukleáris és a szénalapú termelés (Németország), a földgázt nevezték meg alternatív energiahordozónak, amennyiben a folyók vízhozama nem volt elegendő, földgázalapon termelték meg a hiányzó villamos energiát.

Nyugat-Európába csővezetéken Norvégiából, Nagy-Britanniából (egykori EU-tag), Algériából, vagy Líbia felől érkezett földgáz. Kelet-Európa a Yamal és a Testvériség vezetékeken keresztül szinte „korlátlan” földgázimport-lehetőséggel rendelkezett Oroszországból, Ukrajnán keresztül. A 2009-es ukrán gázvita után intenzív LNG-terminál-fejlesztés valósult meg, így a tengerparttal rendelkező tagországok szinte kivétel nélkül építettek LNG-terminálokat. (A kivétel Németország: a németek a tenger alatti vezetékesgáz-szállításban látták a földgázellátás biztonságát.)

Németország felgyorsította az Északi Áramlat I. és II. gázvezetékek építését, Oroszország pedig a déli gázfolyosó (Balkán Áramlat) megvalósítását. Mindkét fejlesztés célja, hogy Ukrajnát megkerülve jusson az orosz gáz a nyugat-európai gázkereskedelmi pontokra. (Németország célja nem kizárólag a tranzitdíj elkerülése volt a vezetéképítéssel: a gázkereskedelemben is vezető szerepre törekedett, amely a hollandiai gázmezők kimerülésével, a TTF holland gáztőzsde háttérbe szorulásával meg is valósulhatott volna.)



4. ábra: Az EU legnagyobb földgázbehozatali forrásai 2000-2020 között [4]

ENERGIAÁRAK

A „fekete hattyú” kifejezés olyan eseményt jelöl, amely bekövetkezésének valószínűsége csekély, de hatása rendkívüli – sokszor végzetes –, a következményei kívül esnek bármely előrejelzési modell tartományán. Ilyen esemény a 2022. február 24-én kezdődött orosz-ukrán háború. Amikor az elemzők a háborúra való készülődés jeleinek értelmezése kapcsán megszólaltak, egy dologban értettek egyet: a két ország közötti feszültség nem fog háborúba torkollni. A fegyveres konfliktus hatása végzetes a világpolitika állapotára: az eddigi gazdasági, politikai világrendet kérdőjelezi meg, és egy új kialakítását veszi célba.

A háborúra adott nagyjából egységes európai válasz (szankciós politika, rövidtávú embargó egyes energiahordozókra – szén és tengeri szállítású olaj –, tervezett embargó az egyéb csővezetékes szállítású energiahordozókra – például a földgáz is) nyomán energiaellátási válsághelyzet rémképe körvonalazódott Európában, mivel a kontinens földgázellátása 40%-ban, olajellátása pedig 30%-ban függ az orosz forrástól. Az orosz féllel szemben alkalmazott szankciók következtében a földgáz ára egy év leforgása alatt négyszeresére emelkedett (a kézirat lezárásának időpontjában, 2022.08.19-én).

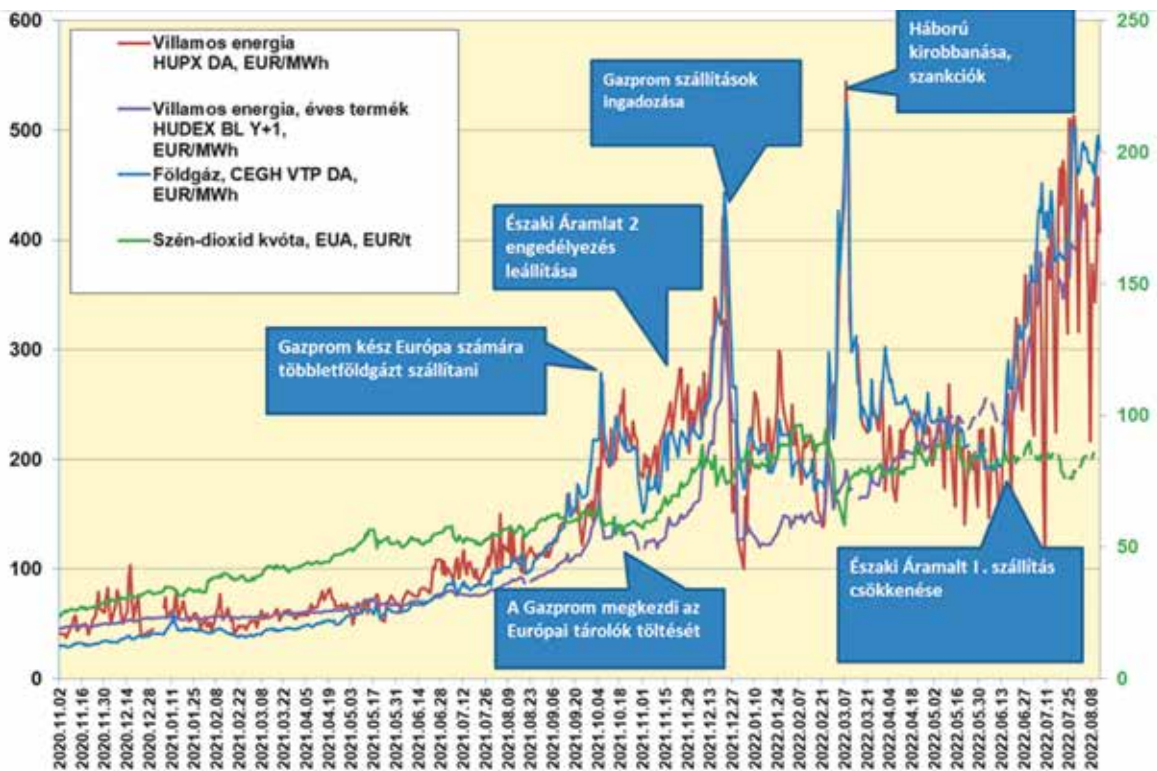
Mindemellett jelenleg a legutóbbi 500 év legsúlyosabb aszálya sújtja Európát. A csapadékhiány miatt csökkent a folyók vízszintje. A két egymásra épülő közlés mégsem csu-

pán mezőgazdasági, vagy hidrológiai kérdés: az Európai Unió villamosenergia-termelésének jelentős részéhez szükség van a nagy és stabil vízhozamú folyókra, amelyek biztosítják például a mellékük telepített atomerőművek hűtését, a vízerőművek tározóinak vízszintjét, vagy az útvonalat, amelyen a szén-erőműveknek szükséges szenet eljuttatják. Ezek hatására a villamos energia ára egy év alatt megötszöröződött.

Az árak emelkedése energiahiányra utal (keresleti piac uralkodik), amely energiaellátási szünetekben nyilvánulhat meg Európában a 2022/23-as téli időszakban. Túlzás nélkül állítható, hogy beavatkozás nélkül az európai energiafogyasztók el fognak lehetetlenülni, ami recesszióba taszíthatja az európai gazdaságot.

A fentiekben vázolt, vis maiornak is tekinthető események soha nem tapasztalt magasságokba repítették az energiaárakat (villamos energia, földgáz), ezt mutatja az **5. ábra**.

Az Európai Unióban a vezetékes energiahordozók (villamos energia és földgáz) szabadpiacokon cserélnek gazdát, vagyis az ár a kereslet-kínálat pillanatnyi egyensúlyi helyzetét jelenti. Az árnövekedés mértékéből kitűnik, hogy főleg 2021. szeptember hónaptól keresleti piaci uralkodik, vagyis a koronavírus lezárásaiból éppen felfutó európai gazdaság szűkös kínálattal találkozott. Ennek az oka egyrészt az Európába irányuló LNG-szállítások elmaradása volt, másrészt a Gazprom nem töltötte fel az általa bérelt európai tároló-



5. ábra: Villamosenergia- és földgázárak 2020.11.02-től napjainkig

kapacitásokat. Az Északi Áramlat II. gázvezeték elkészültével a Gazprom nyilvánvalóan nyomást akart gyakorolni a németországi üzemeltető cégre, hiszen a gáz a téli hónapokban megnövekedett mennyiségben a vezetéken rendelkezésre állt volna.

Az új vezeték engedélyezése a német kormányváltás és egyéb geopolitikai folyamatok (elsősorban az orosz-ukrán diplomáciai helyzet kiéleződése) miatt teljesen leállt. Az ábrán jelölt, kizárólag az orosz forrás elérhetőségéhez/rendelkezésre bocsátott mennyiségéhez köthető események befolyásolták a földgázárát – amely megállapítás az orosz-ukrán háború kitörése óta megerősítést nyert.

Az EU szankciós politikája kiterjedt a pénzügyi folyamatokra, cégjogi lépésekre, valamint egyes energiahordozókra, mint például az oroszországi kőszén, vagy tengeri úton érkező kőolaj. A vezetékes földgázbehozatalt az EU nem szankcionálta, mivel visszafordíthatatlan károkat okozott volna egyes gazdaságoknak – elsősorban az EU vezető gazdasági hatalmának, Németországnak. Ugyanakkor a cégjogi és pénzügyi szankciókkal szembesülő Gazprom „a kölcsönösség elvét” követve, elsősorban műszaki problémákra hivatkozva csökkentette az Északi Áramlat I-en Németországba irányuló gáz mennyiségét. Az EU által az energiabiztonságra megfogalmazott 2022/23-ra vonatkozó intenzív földgázbetárolás következményeként a földgázfogyasztás szintje viszonylag magas maradt (annak ellenére, hogy az ipari földgázfelhasználás augusztus hónapban 30%-

kal csökkent az előző évi fogyasztáshoz képest), így az árak soha nem látott magasságokba emelkedtek. És nem látszik az emelkedési pálya vége.

Ugyanakkor egy egyszerű matematikai példán levezethető, hogy a Gazprom bevételei hogyan változtak a csökkenő földgáz-értékesítés ellenére is, ezt mutatja az 1. táblázat.

	Átlagos földgázár EUR/MWh	Értékesítés mennyisége MWh	Feltételezett bevétel EUR
2021. szeptember	64,17	1,00	64,17
2022. július	172,64	0,40	69,06
2022. augusztus (1-19.)	205,02	0,30	61,51

1. táblázat: Értékesítés feltételezett árbevételének változása

AZ ENERGIAPOLITIKA, AVAGY AZ EGÉSZ EU VIZSGÁZIK?

2022 augusztusában a világon a legmagasabb energiaárak az Európai Unióban vannak, melynek magyarázata csak részben lehet az egységes európai energiapolitika gyengesége vagy hiánya. (Az energia áremelkedésével lassan minden fogyasztó szembesül – az a fogyasztó, aki a pandémia kezdetén, 2020 tavaszán 2 évre kötött fix áras szerződést, még mindig nem tapasztalja a teljes áremelkedés-sokkot.)

A magas energiaár ki kell, hogy kényszerítsen energiahatékonyság-növelő beruházásokat, és mindezt úgy kell elér-

ni, hogy az energiafelhasználás csökkentésével növekedjen a hatékonyság.

A magas energiaárnak (kínálati szűkösség) arra is rá kell világítania, hogy az EU növekedését nem lehetséges geopolitikailag bizonytalan energiaforrásokra alapozni. Meg kell vizsgálni, hogy melyek azok az energiaforrások, amelyek az EU-n belül elérhetők. Ilyen lehet a klímapolitikai szempontból nem megfelelőnek tartott feketeszén és lignit is. Ellátásbiztonsági szempontból biztosan megfelelnek, a kutatás-fejlesztést pedig a fenntartható, környezetbarát felhasználás irányba kell terelni. De ilyen energiaforrás lehet a romániai fekete-tengeri földgáz is, ennek kitermelésére irányuló lépéseket kell tenni. Vagy a magyarországi makói árokban levő földgázkészlet, amelynek kitermelése mérnöki szempontból még kihívás, de innovációval, kutatás-fejlesztéssel hosszú távon elérhetővé válhat. Ugyanilyen energiaforrás a megújulók közül a Magyarországon mellőzött szélenergia, amelynek használatát és bővítésének lehetőségeit meg kell vizsgálni.

Ugyanakkor az áremelkedés mértéke a piac jelentős nyugtalanságát jeleníti meg, vagyis a piaci szereplők kétegye az energiahordozók 2022/23 telén való elérhetőségéről. A 2022/23 évi tél során az ellátásbiztonság feltételezhetően nem az energiahordozók szállítási útvonalának diverzifikációját jelenti majd, hanem azt a képességet, hogy energiafelhasználásunkat képesek vagyunk a rendelkezésre álló energiahordozók mennyiségének szintjéig csökkenteni, és azokat felhasználva túlélni a szűkösebb időszakokat. Az EU

tagországainak – amelyek különböző mértékben érintettek az energiaválságban – összefogva, az európai szolidaritás elve alapján, együttesen kell szembenéznük azzal.

Az európai szolidaritás pedig feltételezi, hogy az egyén, vagy egyes országok képesek lemondani a pillanatnyi előnyről, kényelemről annak érdekében, hogy a mikro- és makrokörnyezet rövid távon életképes maradjon. Az egyes országok önálló politikai ereje semmit nem ér a kirajzolódó világrendben (három pólus helyett ötpólusú világrend). Az Európai Unió mint globális vezető hatalom nem jöhet létre az európai szolidaritás nélkül, amit az európai döntéshozóknak illene felismerniük.

Amennyiben az idei télen energiakimaradások lesznek, az energiapolitika energiabiztonságra irányuló célját nem sikerült elérni.

HIVATKOZÁSOK

- [1] https://ec.europa.eu/info/policies/energy_hu, 2022.08.18
- [2] Európai Bizottság COM(2019) 640 Final, 2017,Brüsszel]
- [3] [Bloomberg adatai alapján]
- [4] [<https://www.penzcentrum.hu/gazdasag/20220320/igy-fugg-az-orosz-gasztol-az-eu-magyarorszag-nak-szuperkegyetlen-lenne-a-levalas-1123066>]



ACÉL

AZ EGYEDI FORMÁK VILÁGÁBAN

A Magyar Zene Háza a hazai építészet legutóbbi évtizedének egyik legizgalmasabb projektje volt Magyarországon. A budapesti Városligetben a környező természettel szimbiózisban létezik a különleges épület, amelyet Sou Fujimoto, a kortárs japán építész nemzedék egyik kiemelkedő képviselője tervezett.

Az idén januárban átadott létesítmény multifunkciós kulturális színtér: hangversenyterem, kiállítási tér, amfiteátrum, interaktív-ismeretterjesztő zóna, zenepedagógiai helyszín, könyvtár és zenei játszótér is egyben.

A számos nemzetközi díjat elnyert épület acélszerkezetének megvalósítása különleges szakmai kihívást jelentett a feladattal megbízott Weinberg'93 Építő Kft. számára. Az

izgalmas projekt részleteiről Lovas Róbert gyártási üzletág-igazgató számolt be a Magyar Acélszerkezeti Szövetség (MAGÉSZ) júniusi, dunaujvárosi konferenciáján. A szakember felidézte a kezdeteket: az épületkülönlegesség acélszerkezetének kivitelezési tervezése az M-Teampannon Építésmérnöki Kft., a Kenese Mérnöki Iroda Kft. és a Terraplan 97 Mérnökiroda Kft. együttműködésében valósult meg. A tervek alapján a Weinberg szakmai csapata átvizsgálta a szerkezet csomópontjait és műszaki megoldásait. A ház egyedisége miatt a jellemző gyártmányok száma jelentős volt, ezekhez kellett hozzárendelni a leghatékonyabb gyártástechnológiákat és erőforrásokat.

A tetőszerkezet mellett a fénykút, a csigalépcső és hangdóm acélszerkezetének gyártása és helyszíni szerelése jelentette a legnagyobb kihívást. A fénykút a tető acélszerkezeté-



hez közvetlenül csatlakozó kiegészítő váz, ami a bevilágító üvegfelületeket is tartja. A tervezés legfontosabb eleme itt a geometriai pontosság tartása volt, mivel az acélszerkezetek és az üvegszerkezetek gyártása párhuzamosan folyt. A látvány acél csigalépcső szerkezete lemezekből hajlított és ívesített elemekből áll, amit feszítő pászmákon keresztül kifeszítettek a tetőszerkezet és a pincefödém között. A szerkezetet ideiglenes acéltartókkal kellett kiegészíteni, hogy szerelés közben megtartsa állékonyságát.



A hangdóm acélszerkezete a pincszinten került elhelyezésre. A zenei szentélyként is emlegetett acélszerkezet egyedi formáját pontos elemgyártást követően üzemi előszereléssel tervezték meg. Az elkészült és ellenőrzött elemgyártásokat követően kezdődhetett a lakatos összeállítás majd a hegesztés. A mérettartó, hegesztett gyártmányok felületeinek tisztítása, előkészítése szemceszórással történt, amelyet a festési bevonat elkészítése követett, üzemi körülmények között. A hangdóm gyártásánál a szerkezetet eredeti méretében kiserelték üzemi körülmények között, a pontos gyártási méretek ellenőrzése miatt, amelyek szigorúbbak voltak az acélszerkezeti tűréseknél. A hangdómra kerülő, speciális anyagból készülő ponyvát és rögzítési pontjait párhuzamosan készítették.



A teljes épület főtartó szerkezetei közül először a födémeket tartó vastagfalú csőoszlopok kerültek elhelyezésre, majd a tetőt tartó nagy- és kistráncos szerkezetek következtek. Ezt követően megindult az alattuk készítendő vasbeton szerkezetek kivitelezése is, amelyek előrehaladásával párhuzamosan kerültek elhelyezésre az acéloszlopok. A belső tető szerelésével párhuzamosan elindult a külső szakasz szerelése is. Rendkívül látványos lett végül a külső, légi acélvonal, amely kikerüli vagy körbeöleli a védett fákat.

A Weinberg'93 Kft. szakmai tapasztalatával és technológiai hátterével egyaránt elhivatottan vett részt ebben a hazai és nemzetközi szinten is elismert projektben. Munkájuk a 2022-es évben elnyerte a MAGÉSZ által kiadott „Az Év Acélszerkezete Nívódíj”-at.



STRATÉGIAI SZÜKSÉGSZERŰSÉG A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGRA VALÓ ÁTTÉRÉS



A klímaváltozás kapcsán az emberiség már felismerte, hogy a szén-dioxid-kibocsátását vissza kell fognia, ha nem akar „megfőni”, de felmerül egy másik komoly probléma is: a hulladék kérdése.

Az emberiség története során hozzászokott ahhoz, hogy ha valamire már nincs szüksége, akkor azt eldobja, elássa, eltünteti szem elől, aztán majd csak lesz vele valami. Ellenben a természet teljesen másképpen működik, a természetben nincs hulladék, ott csak tápanyagok vannak. Az érett alma a fán, vagy a földre lehullott, már rothadásnak induló alma egyaránt tápanyag a természet szempontjából. A természeti tápanyagok a levegő, a víz és a talaj állandó körforgásban és átalakulásban vannak. Minden hasznosul, és gyakorlatilag nincs hulladék, amit ártalmatlanítani kell.

Ezzel szemben az emberi tevékenység, különösképpen az ipari forradalom nagyjából 200 éve kialakult gazdasági rendszere alapvetően nem a körforgásra, hanem egy vonalas rendszerre, a linearitásra épül. Az ásványi nyersanyagokat,

fémeket, fát, energiahordozókat kitermeljük, feldolgozzuk, termékeket állítunk elő belőlük vagy elégetjük őket az energiatermeléshez, az elromlott, elavult, megunt tárgyakat, eszközöket eldobjuk. Például egy eldobott műanyag nem csak hogy nem kerül vissza a természetes körforgásba, hanem egyelőre ismeretlen, sok esetben nagyon káros hatásokat okoz évszázadokon, évezredekken át.

Noha az újrahasznosítás és az újrafeldolgozás különböző formái ma már egyre jobban terjednek, még mindig hatalmas mennyiségben termelünk szemetet, mely a hulladéklerakókban vagy a hulladékégetőkben végzi. És ez nemcsak környezeti probléma, hanem gazdaságilag is óriási pazarlása az erőforrásoknak.

Teljesen egyértelmű, hogy ez a rendszer így nem fenntartható. Fontos, hogy az a környezetszennyezés, amit a



különböző termékek gyártói létrehoznak, hatalmas károkat okoz, ez azonban nem jelenik meg a gyártók költségei között. Effektíve a teljes jelenkori ipar azért tud nyereséges lenni, mert nem fizeti meg a hulladék újrahasznosításának árát. És itt nem is csak az újrahasznosításról van szó, hanem arról is, hogy egy csomó terméket gyakorlatilag lehetetlen újrahasznosítani, de jelentős károkat okoznak, ergo le sem lenne szabad gyártani azokat.

A megoldás kulcsa a körforgásos gazdaságra való átállás. A körforgásos gazdaság arra törekszik, hogy egy termék, annak alkotóelemei, anyagai minél tovább és minél magasabb minőségben maradjanak a gazdasági vérkeringésben, és ennek következtében minél kevesebb új nyersanyagra legyen szükség. Azonban ehhez a termékeket, eszközöket úgy kell megtervezni és elkészíteni, hogy tartósak legyenek, lehessen javítani, felújítani vagy átalakítani őket. Sajnos, ma a tartós fogyasztási cikkek többnyire rövid élettartamra, korlátozott javíthatóságra vannak tervezve, sőt gyakran az elavulás és az elromlás is gyárilag kódolt. Az újrahasznosításuk pedig sokszor nehezen vagy egyáltalán nem oldható meg, mert nem lehet a különböző alkotóelemeket szétszedni, mert össze vannak ragasztva, forrasztva. Ráadásul a technológiai újítások is gyorsan elavulttá teszik a műszaki termékeket vagy az ipari eszközöket.

A körforgásos gazdaság egyik fontos ismérve, hogy elkönyölönül a biológiai és a technológiai anyagok kezelése. A termékekben található biológiai és szerves eredetű anyagokat (pl. rostok vagy fa) biztonságosan vissza lehet a természetbe helyezni, míg a nem lebomló, szervetlen anyagok (fémek, műanyagok, ötvözetek) felújítva, átalakítva vagy anyagukban újrahasznosítva egy másik termékben kelhetnek új életre. Ahhoz, hogy könnyen szét lehessen szedni a műszaki termékeket és külön lehessen választani a biológiai és technológiai alkatrészeket, már a termékek tervezésénél figyelmet kell fordítani erre. Még fontosabb, hogy a termékeknek vissza kell kerülniük a gyártókhoz.

A körforgásos gazdaságban fogyasztóként a műszaki termékeket, háztartási eszközöket nem kell feltétlenül tulajdonolni, elég ezeknek csak a szolgáltatásait élvezni. Már ma is számos dolgot (autót, munkagépet vagy siléct) lízingelünk vagy bérelünk, ahelyett hogy megvennénk ezeket az eszközöket. Így pénzt takarítunk meg, és csak akkor használjuk ezeket a termékeket, amikor szükségünk van rájuk. A körforgásos gazdaságban lehet tv-t, hűtőszekrényt vagy akár



szőnyeget is bérelni, a gyártó fog gondoskodni a javításról és karbantartásról, és ha már elavult vagy meguntuk, akkor újat biztosít helyette. A régít pedig visszaveszi és gondoskodik az újrahasznosításáról.

A körforgásos gazdaság tekintettel van a környezeti szempontokra és az emberi egészségre és jóllétre, ezért kerüli a mérgező anyagok felhasználását, a gyártás, a szállítás és a forgalmazás során pedig törekszik az energia- és vízfelhasználás minimalizálására, a megújuló energiafelhasználás növelésére.

Természetesen vannak olyan anyagok, melyek 100%-ban újrahasznosíthatók és a végtelen újrahasznosítás során is megőrzik tulajdonságaikat, így a körkörös gazdaság alappillérei. Ilyen anyag az acél. Az acél egy tartós, visszanyerhető és újrahasznosítható anyag. Az acélipar azt is biztosítja, hogy a gyártás melléktermékei is a leghatékonyabb felhasználásra kerüljenek. A tisztább, klímabarát zöldacél-technológiák fejlesztésével biztosítani lehet, hogy az így előállított acél mindig fenntartható és környezetbarát legyen. De ennek ára van, és ezt a zöldárat meg kell fizetni, és be kell épülnie a fogyasztói árba.

Ahhoz, hogy gazdaságban és a vállalatok szintjén is végbemenjenek a szükséges változások, még nagyon sok külső feltételnek kell módosulnia, hiszen a mostani rendszerünk, a piaci mechanizmusok, a fogyasztási szokások, a jogszabályok és adózási keretek alapvetően mind a lineáris gazdaságra épülnek. Azonban a változás már elkezdődött, és egyre több hazai és külföldi cég kezdett olyan termékfejlesztésekbe, műszaki és üzleti innovációba, amelyek a körforgásos gazdaság megvalósításának irányába hatnak. De ez önmagában kevés. Elengedhetetlen, hogy minél több vállalat fogjon össze, keressen egymással együttműködési lehetőségeket, akár más szektorban működő cégekkel is, mert a körforgásos gazdaság lényege az együttműködésen alapuló verseny.

Egy olyan társadalomban, ahol valódi körforgásos gazdaság van, tehát nem ásunk el semmi „szemetet” hulladéklerakókba, hanem mindent újrahasznosítunk, de minimum elégetünk, az emberek jelentős részének ebben az ágazatban kell majd dolgoznia, és egy csomó olyan anyag, amit most használunk, kikerül a használatból, mert felmérhetetlenül káros. Ez azzal jár, hogy az újrahasznosításban résztvevők kiesnek a közvetlen termelésből, tehát egy ilyen társadalomban kevesebben állítanak elő termékeket és szolgáltatásokat, és minden termék sokkal drágábbá válik.



Hidrogén- (H₂) alapú nyersvasgyártás

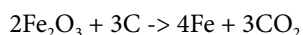
Ha olyan világot szeretnénk, amelyben alacsony a szén-dioxid-kibocsátás, át kell alakítanunk a vas- és acélgégyártási eljárásainkat. Nincs egyetlen jó megoldás a CO₂-mentes acélgégyártásra, a technológiai lehetőségek széles skálájára van szükség, amelyeket önmagukban, vagy a helyi körülményeknek megfelelően kombinálva kell alkalmazni.

MI A HIDROGÉNALAPÚ REDUKCIÓ?

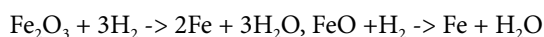
A vasérc direkt redukciója egy olyan kémiai eljárás, amely során az oxigént eltávolítják a szilárd vasérből (redukálják). Ez a folyamat a direkt redukciós vasgyártásként (DRI) ismert.

Az acélgégyártás során használt nyersvasat jelenleg vasérből, kémiai redukció segítségével állítják elő, fosszilis erőforrások – földgáz és szén – felhasználásával.

A szén egyesül a vasércben lévő oxigénnel, fémvasat és szénben gazdag technológiai gázt hozva létre, az alábbi egyszerűsített kémiai reakciónak megfelelően:



A vasérc redukciója szén helyett hidrogénnel is történhet. Ebben az esetben hulladékgázként víz képződik, az alábbi reakciók szerint:



H₂-ELŐÁLLÍTÁS ÉS -FELHASZNÁLÁS NAPJAINKBAN

Hidrogént az olyan hidrogéntartalmú üzemanyagokból lehet kivonni, mint például a földgáz és biogáz, vagy elektro-

lízis során a vízből. A hidrogén-előállítás elsődleges forrása jelenleg a földgáz, ami éves szinten, globálisan a mintegy 70 millió tonnás hidrogén-előállítás háromnegyedét adja.

Ez a globális földgázfelhasználásnak kb. 6%-át teszi ki. Jelenleg a célzott hidrogén-előállítás kevesebb mint 0,1%-a származik víz elektrolízisből.

H₂ AZ ACÉLIPARBAN NAPJAINKBAN

A földgázalapú DRI-előállítás során a hidrogénnek a redukciós folyamatban van szerepe, noha ez a szénnel egyesülve történik. A földgáz alapú DRI-előállításból származó üvegházhatású gázkibocsátás kevesebb, mint a nagyolvasztói eljárások során. Minden egyes tonna előállított DRI 1,5 tonna CO₂-kibocsátással jár. A tiszta hidrogént jelenleg nem használják a vasgyártásban.

LEHETSÉGES MEGKÖZELÍTÉSEK

Három fő hidrogénforrást különböztetünk meg. A „zöld” hidrogént megújuló energia és elektrolízis kombinációjával állítjuk elő, a „kék” hidrogént fosszilis tüzelőanyagokból ál-

lítjuk elő a karbon megkötésére és tárolására alkalmas létesítményekben, míg a „szürke” hidrogén a kibocsátáscsökkenés nélküli fosszilis tüzelőanyagból származik.

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2020-as technológiai ütemtervében azt javasolja, hogy a Fenntartható Fejlődés Forгатókönyv (SDS) keretein belül a zöld hidrogén, mint elsődleges redukálószer kereskedelmi méretekben a 2030-as évek közepéig kerüljön bevezetésre. A felhasználás évi 12 millió tonnára növekedne 2050-re. Ez gyors bővülést és új technológia telepítését jelentené – az IEA modellje alapján 2050-re a teljes acélipari gyártás kevesebb mint 8%-a alapszik majd az elektrolitikus hidrogénnel mint elsődleges redukálószeren, illetve az elsődleges acélelőállítás kevesebb mint 14%-a.

HELYSZÍNI FEJLESZTÉSEK

Kék hidrogén előállítására láthatunk példákat a Shell „Quest” projektje, vagy az Air Products Port Arthur-i létesítménye esetében. A világ legnagyobb elektrolizálója jelenleg a Japánban található 10 megawattos egység, ami óránként 1,200 Nm³ hidrogén előállítására képes. A hamburgi kikötőben pedig egy 100 MW-os kapacitású üzemet fognak megépíteni.

Az acélipari vállalatok jelenleg hidrogénhasznosítás számos módját vizsgálják a. Az első megközelítés egy átöröszést jelentő hidrogénredukációs technológia kifejlesztése és alkalmazása, kiküszöbölve az ÜHG-kibocsátást a vasgyártás folyamatából. Számos acélgyártó alkalmazza ezt a megközelítést. Olyan kulcsfontosságú projekteket érdemes megemlíteni, mint a Hybrit (SSAB/LKAB/Vattenfall) és az Arcelor Mittal hamburgi pilotprojektje. Az IEA szerint a hidrogénalapú redukció kiemelkedő fontosságú a nettó nulla kibocsátás szempontjából, valamint úgy tartják, hogy 2030-tól mindez az 5-ös technológiai készülségi szinten (TRL) is elérhető lesz.

Az acélgyártók egy másik csoportja a hidrogén átmeneti hasznosítását vizsgálja: fosszilis alapú redukálószerrel keverve alkalmazzák a hagyományos acélgyártási eljárásoknál (BF és DRI), ezáltal növelve az ÜHG hatékonyságot. A thyssenkrupp a hidrogén nagyolvasztóban történő felhasználását teszteli; ezt a módszert Japánban is tanulmányozták a „COURSE 50” projekt részeként. Az IEA TRL7-re értékelte ezt az eljárást, ami 2025-ben bevezetésre készen áll majd.

A Tenova, a Salzgitter és a thyssenkrupp magas hidrogénarányú, földgázalapú DRI-t tesztelt vagy tesztel (TRL7, 2030). A voestalpine SuSteel-projektje hidrogénplazma-

alapú redukciót tervez alkalmazni a vasgyártás során, míg a Utah Egyetem a gyors vasgyártási eljárást kutatja (Flash Ironmaking Technology – FIT, TRL4).

A hidrogén a földgáz helyettesítésére is alkalmazható az olyan kiegészítő folyamatok során, mint az újrahevítés.

A HIDROGÉNTÉCHNOLÓGIA KIHÍVÁSAI

Elterjesztés

Az IEA Fenntartható Fejlődés Forгатókönyve (SDS) alapján az elektrolitikus hidrogén elsődleges redukálószerként a 2030-as évek közepére kerülne bevezetésre kereskedelmi méretekben, majd 2050-re 12 millió tonnára bővülne a felhasználása. Az IEA várakozásai alapján 2050-re Indiában és Kínában várható a legnagyobb kereslet az elektrolitikus hidrogén iránt (mindkét országban valamivel több mint 4,5 millió tonna), a nagy termelési volumennek, valamint a nagy mennyiségben elérhető, olcsó megújuló villamos energiának köszönhetően.

Napjainkban mintegy 70 millió tonna hidrogént állítanak elő a világon, 76%-ot földgázból, és szinte a teljes fennmaradó mennyiséget (23%) szénből. A globális hidrogéntermelés kevesebb mint 0,1%-a származik vízelektrolízisből. Ha a jelenlegi dedikált hidrogéntermelést vízelektrolízis révén biztosítanák (vizet és elektromosságot használva a hidrogén gyártásához), annak az éves villamosenergia-igénye 3.600 TWh lenne – több, mint amit az Európai Unióban egy év alatt előállítanak.

Az IEA forгатókönyve alapján a hidrogén iránti globális kereslet 2050-re eléri a 287 millió tonnát, ami több mint 400%-os emelkedés a 2020-as szinthez képest. Ez óriási kihívást jelent az elterjedés tekintetében.

Infrastruktúra

Mivel a hidrogén könnyű és kis méretű molekulákból álló gáz, nehéz a tárolása, és speciális infrastruktúra kifejlesztésére lenne szükség a nagyléptékű elterjesztéshez.

Napjainkban közel 5000 kilométernyi hidrogénvezeték található világszerte, szemben a 3 millió kilométernyi gázvezetékkel. A meglévő magasnyomású gázszállító vezetékek a jövőben átalakíthatók lennének a hidrogén továbbítására, amennyiben már nem kell a gázhálózat-hoz, viszont minden esetben külön meg kell vizsgálni az alkalmasságukat, ami nagyban függ attól, hogy milyen típusú acélból készült az adott csövezeték, illetve milyen tisztaságú hidrogént szállítanak rajta keresztül.



A voestalpine hidrogénplazma-erőművének modellje

További kihívást jelent, hogy ugyanakkora energia előállításához háromszor annyi hidrogénre van szükség, mint földgázra. Tehát további szállító- és tárolókapacitásokra lehet szükség a teljes hálózaton.

Az elektrolízishez vízre és villamos energiára van szükség. Körülbelül 1 liter víz kell 1 kg H₂ előállításához, amiből melléktermékként 8 kg oxigén keletkezik. Ez kihívást jelenthet a vízhiányos területeken.

Költségek

Az IEA megállapítása szerint az innovatív eljárások (nagyolvasztói szén-dioxid-leválasztás és -tárolás, redukációs olvasztás, gázalapú DRI) várhatóan 10-50%-kal fognak többbe kerülni, mint a forgalomban lévő eljárások egy adott régióban; hozzátevé, hogy ez a költségnövekedés jelentősen meghaladja acélgyártásra napjainkra jellemző haszonkulcs szintjét. Az IEA elemzése alapján a hidrogén megújuló villamos energiából történő előállításának költsége 30%-ot csökkenhet 2030-ra, köszönhetően a megújulók csökkenő költségének, illetve a hidrogén-termelés elterjedésének.

Biztonsági felvetések

Más energiahordozókhoz hasonlóan, nagyobb mennyiségben alkalmazva a hidrogén is jelent bizonyos egészségügyi és biztonsági kockázatot. Mivel a hidrogén kisméretű molekulájú gáz, a kezeléséhez speciális berendezésekre és eljárásokra van szükség. A hidrogén olyan kicsi, hogy bizonyos anyagokba képes diffundálni, beleértve néhány fajta vasat és acélcsővet, ezáltal növelve a meghibásodás valószínűségét. Ugyanakkor könnyebben el is szivárog a tömítéseken és csatlakozásokon keresztül, mint az olyan nagyobb molekulák, mint például a földgáz.

Továbbá a hidrogén ridegedést és repedést okozhat az acélcsővekben, tartályokban. Az ausztenites rozsdamentes acélokat nem érinti a hidrogén okozta ridegedés.

Az acélgyártók folyamatbiztonsági menedzsment rendszereket fejlesztenek és alkalmaznak a veszélyes, mérgező vagy gyúlékony anyagok szivárgásból adódó kockázatának kezelésére. A kockázatértékeléseket és a kapcsolódó ellenőrzéseket frissíteni kell, hogy magukban foglalják a hidrogén használatából adódó kockázatokat.

A VILÁG LEGNAGYOBB FÚZIÓS REAKTORA REMÉNYT AD A TISZTA ENERGIA ELŐÁLLÍTÁSÁRA

Egy új, nagy teljesítményű, acélból épített tokamak-reaktor célja,
hogy végre elérje a fúziós áramtermelés „Szent Grálját”.

A franciaországi Provence-régió mélyén – melyet a kedvező geológiai, hidrológiai és szeizmikus viszonyok, valamint a víz- és villamosenergia-hozzáférés miatt szemeltek ki a projekt helyszínéül – található egy 180 hektáron elterülő, hatalmas létesítmény, amely a Nemzetközi Termonukleáris Kísérleti Reaktornak (*International Thermonuclear Experimental Reactor – ITER*) ad otthont. Napjaink hagyományos erőművei a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből, vagy pedig a maghasadásból származó hőt gőzzé alakítják. Ezt a forró gőzt a mechanikai energiát villamos energiává alakító turbinák forgatására használják. Mindkét módszer – bár megbízható energiaforrás – a kibocsátások és a radioaktív hulladék miatt negatív környezeti hatásokkal jár.

Mi lenne, ha létezne olyan módszer, amellyel a hőt káros melléktermékek nélkül lehetne előállítani? Ez az álom a fúziós energia. Egy kísérleti fázisban lévő technológia, melynek célja, hogy hatalmas mennyiségű energiát termeljenek atomfúzió révén. A fúzió a Napot működtető folyamatokhoz hasonlóan akkor következik be, amikor két hidrogénatom összeütközik, és egyetlen héliumatommá olvad össze. Ez hatalmas mennyiségű energiát szabadít fel anélkül, hogy radioaktív hasadás miatt melléktermékek keletkeznének.

Ennek a folyamatnak a létrehozása komoly mérnöki kihívást jelent, mivel a reakciókat pontosan kell szabályozni egy olyan térben, ahol hatalmas mennyiségű energia keletkezik.

Egy csillag ereje egy acélból épített cellában

Az ITER-létesítményben jelenleg is folyik a világ legnagyobb tokamak-reaktorának építése. A 60-as években kifejlesztett szovjet modellen alapuló kísérleti berendezés középpontjában egy tórusz alakú vákuumkamra áll. A vákuumkamra 5200 tonnás súlyával és 1400 köbméteres térfogatával messze a legnagyobb a maga nemében, ami megkönnyíti az üzemeltető fizikusok számára az életképes fúziós energia előállításához szükséges reakciók irányítását. Az ITER kísérletei ebben az acélszerkezetű vákuumtartályban zajlanak majd. Itt történik meg a fúziós reakció. Kritikus fontosságú, hogy a kamra hermetikusan zárjon, hiszen ez az elsődleges biztonsági védőgát. Az üzemanyagot, vagyis a hidrogén óriási hőnek és nyomásnak teszik

ki, mely ezáltal plazma néven ismert forró, elektromosan töltött gázzá alakul. Ez a vákuumkörnyezet biztosítja a sugárzásvédelmet és támogatja a plazma stabilitását, míg a kettős acélfalak között keringő hűtővízrendszerek biztonságosan eltávolítják a reaktor működése közben keletkező hőt. Ez létfontosságú, mivel a fúziós reakció beindításához 150 és 300 millió °C közötti hőmérsékletre van szükség.

A mágneses mezők ereje

A belső tér fánk alakja lehetővé teszi, hogy a benne lévő plazmarészecskék folyamatosan keringjenek anélkül, hogy a falakhoz érnének. Ezt a szuperforró plazmát a tokamak-reaktorban 10 000 tonna szupravezető mágnes által létrehozott mágneses mezők tartják kordában és irányítják.

Az ITER a hagyományos mágneseknél erősebb mezők előállítására képes, ha -269 °C-os hőmérsékleten tartják, mivel „nagy teljesítményű, belső hűtésű szupravezetőket” használ, amelyekben a szupravezető szálakat acélköpenybe csomagolva, egymáshoz kötegelve helyezik el. A mágneses mezők létrehozásának ez a módja olcsóbb és kevesebb energiát igényel, mint az alternatívák, így ez az egyetlen járható út a fúziós energia fenntartható előállításához szükséges hatalmas mágneses rendszerek kiépítéséhez. A vákuumtartály és a szupravezető mágnesrendszer az ITER kriosztátjában található, amely ultraalacsony hőmérsékletű vákuumteret biztosít. 16 000 m³-es méretével ez a valaha épített legnagyobb, rozsdamentes acélból készült nagyvákuumos nyomástér.

A reaktorban lévő szélsőséges hőmérséklet különbségek miatt a rozsdamentes acél az ideális választás. Adottságainak köszönhetően az acél magas és alacsony hőmérsékleten is képes fenntartani a teljesítményét, magasfokú alakíthatósága és szívóssága miatt pedig pótolhatatlan része az ITER-nek.

Mivel a tokamak várhatóan 2025-re üzembe helyezhető, elképzelhető, hogy a fúziós fizika megváltoztatja a jövő energia-termelését. Bár a korlátlan mennyiségű tiszta energia előállítása még mindig a láthatárunkon túl van, egyértelmű, hogy ha el akarjuk érni a fúziós energia kereskedelmi használatának elterjedését, akkor az acél kitaró ereje lesz az, ami lehetővé teszi, hogy ezt a célt megvalósíthassuk.

AZ ACÉLIPAR KIHÍVÁSAI 2022

FELFÖLDINÉ KOVÁCS ÁGNES fenntarthatósági szakértő, MVAE

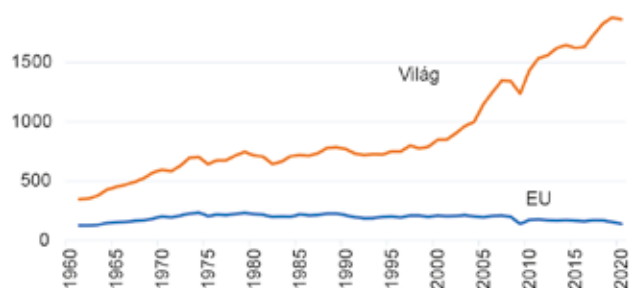
AZ ACÉL JELENTŐSÉGE

Az acél a világ egyik leginnovatívabb, legsokoldalúbb és az egyik legnélkülözhetlenebb mérnöki és építőipari anyaga. Végtelenszer újrahasznosíthatósága lehetővé teszi, hogy a gépjárműveket, épületeket, vagy éppen a konzervdobozokat újra és újra legyártssuk, felépítsük, az élet minden területén alkalmazzuk. Az acél a modern társadalom gerincét adja: munkahelyeket és gazdasági növekedést teremt, elválaszthatatlanul összefonódik a gazdasági növekedéssel és jóléttel. Ösztönzi a gazdasági fejlődést miközben milliókat emelt és emel ki jelenleg is a szegénységből. A nyersanyagok közül csak az arany és az olaj éves forgalma nagyobb, mint a vasércé, ami 3500-4000 milliárd eurós globális éves forgalmat jelent.

Mindezen műszaki és gazdasági érvek mellett a klímaváltozás elleni harc sem képzelhető el az acélipar nélkül. Szinte minden üvegházhatású gázkibocsátást csökkentő technológia az acélon alapszik. Ide tartozik a geotermikus és megújuló energia, villamosítás, tömegközlekedés, valamint a hidrogénalapú gazdaság is.

AZ ACÉLIPAR SZÁMOKBAN

Napjainkban hozzávetőlegesen 20 milliárd tonna acél van használatban különböző termékekben és szerkezetekben. A világ nyersacéltermelése éves szinten meghaladja az 1,8 milliárd tonnát. A kohászatban 6 millió alkalmazott dolgozik világszerte, további mintegy 40 millió munkahely sorsa függ az acélipartól a globális ellátási lánc mentén. Jelen van az életünk minden területén, alkalmazzák a gépjárműiparban, az építőiparban, háztartási berendezések



1. ábra: A világ és az Eupai Unió nyersacéltermelése (millió tonna)

gyártásához, orvosi eszközökben, szállításban, energiaszolgáltatásban, és még sok egyéb területen.

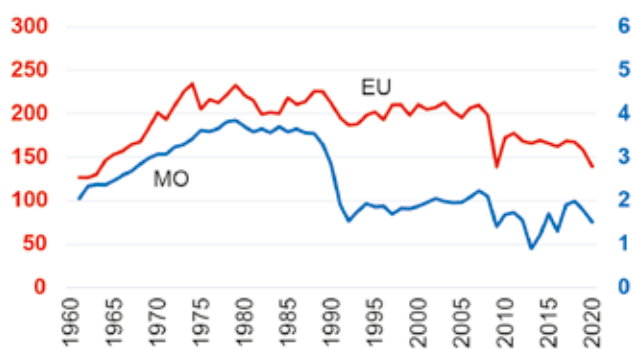
A világ nyersacélgyártása 2020-ban 1 862 millió tonna, az EU termelése 177,6 millió tonna volt (1. ábra).

A legnagyobb acélgyártó országok a világban Kína, India, Japán, USA és Dél-Korea (2. ábra).

Magyarországon jelenleg két meghatározó nyersacélgyártó vállalat működik: az ISD DUNAFERR Zrt. és az ÓAM Ózdi Acélművek Kft., együttesen 2 millió tonnás éves nyersacélgyártó kapacitással.

Az ISD DUNAFERR Zrt. az ország legnagyobb és ma már egyetlen, lapostermékeket gyártó integrált acélgyártó kohászati-gépezeti komplexuma, melyben vasércalapú nagyolvasztói (BF) nyersvas előállítás és oxigén konverteres (BOF) acélgyártás biztosítja az alapanyagot a meleg- és hideghengermű, valamint a továbbfeldolgozó profil- és horganyzóüzem számára.

Az Ózdi Acélművek Kft. Magyarország kiemelkedő, korszerűen felszerelt, melegen hengerelt betonacélt, köracélt, hengerhuzalt és hegesztett betonacél-síkhálót gyártó és értékesítő üzeme. Az alapanyag-ellátást biztosító acélmű egy korszerű elektrokemencéből, egy üstkemencéből és egy négyszálas folyamatos öntőműből, valamint a szükséges modern környezetvédelmi berendezésekből áll. Alapanyaga acélhulladék, melyet különféle adalékanyagok egészítenek ki.



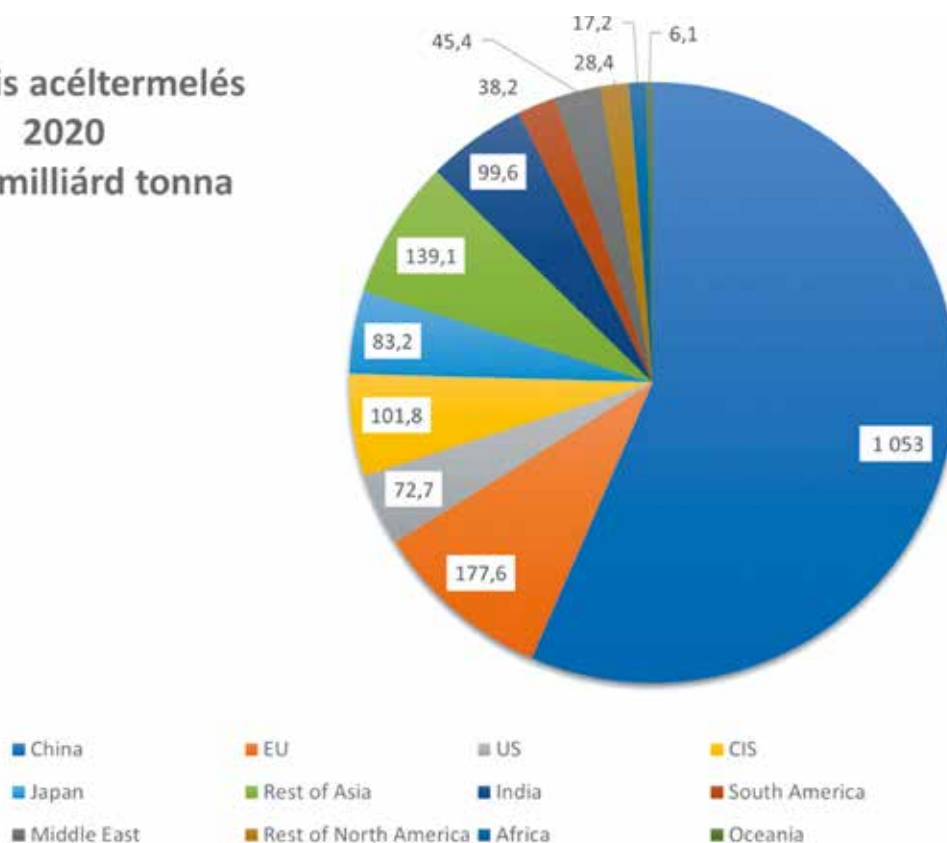
3. ábra: Nyersacéltermelés az EU-ban és Magyarországon (millió tonna)

Az ISD DUNAFERR Zrt.-nél a 2018-as termelési csúcs-hoz képest – a tulajdonosi körben fellépő zavarok és a covid-járvány hatására – visszaesés tapasztalható, míg az Ózdi Acélművek Kft. esetében 2015-höz képest 2019-re megduplázódott a nyersacéltermelés. (4. ábra)

Az állományi létszám az ISD DUNAFERR Zrt. esetében folyamatosan csökken, míg az Ózdi Acélművek Kft. esetében bővülés tapasztalható.

A Magyarországon az acélipari termékek előállításához, felhasználásához jelentős behozatal szükséges, míg az előállított acéltermékek kb. 2/3-át exportáljuk, emellett 3,5-4 millió tonna az ország acélfelhasználása, melynek kb. 80%-a importból származik (5., 6., 7., 8. ábra).

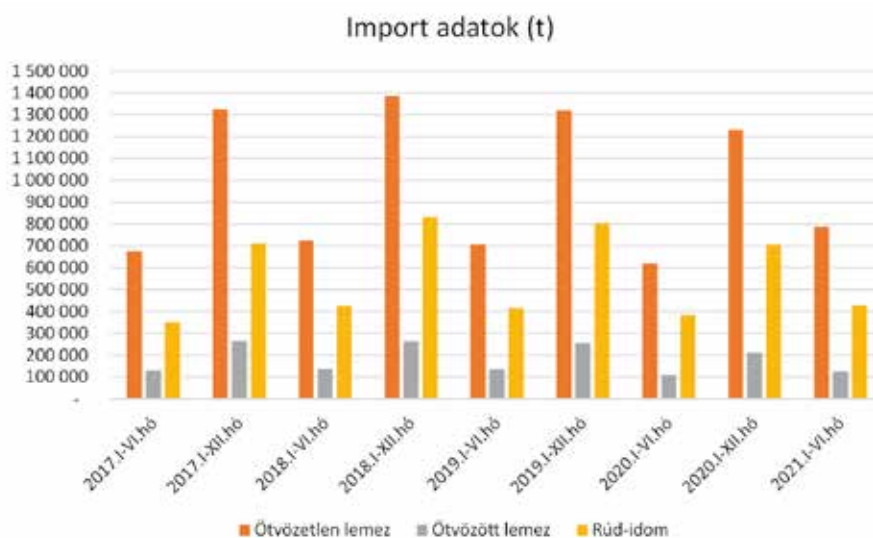
Globális acéltermelés 2020 1,862 milliárd tonna



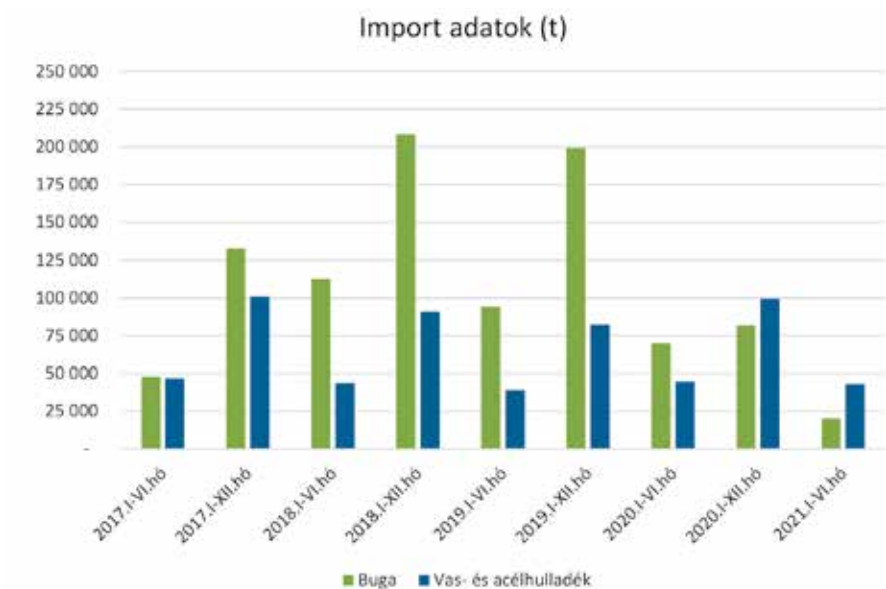
2. ábra: A globális acéltermelés megoszlása

ISD DUNAFERR Zrt.	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Állományi létszám (fő)	4 067	3 706	3 451	3 397	3 354	3 229
<i>fizikai</i>	2 831	2 570	2 395	2 366	2 341	2 242
<i>szellemi</i>	1 236	1 136	1 056	1 031	1 013	987
Értékesítés nettó árbevétele (mFt)	238 181	202 544	290 944	335 563	288 828	242 909
<i>belföld</i>	93 803	76 915	90 824	105 689	101 446	83 598
<i>export</i>	144 388	125 629	200 120	229 874	187 382	159 311
ISD DUNAFERR Zrt. konszolidált adatok	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Állományi létszám (fő)	5 437	4 967	4 601	4 561	4 491	4 316
Értékesítés nettó árbevétele (mFt)	273 876	231 346	318 282	368 161	325 801	242 909
Ózdi Acélművek Kft.	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Állományi létszám (fő)	426	426	493	538	594	597
<i>fizikai</i>	347	347	403	439	493	491
<i>szellemi</i>	79	79	89	99	101	106
Értékesítés nettó árbevétele (EUR)	71 812 986	92 750 962	135 850 782	169 749 976	168 823 355	141 868 377
<i>belföld</i>	37 480 225	45 715 491	67 592 202	81 396 623	91 232 893	65 915 516
<i>export</i>	34 332 761	47 035 471	68 258 580	88 353 353	77 590 462	75 952 861
Nyersacél termelés (tonna)	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ISD Dunaferr Zrt.	1 506 733	1 041 001	1 602 366	1 659 364	1 417 869	1 182 611
Ózdi Acélművek Kft.	167 314	238 163	298 446	329 139	351 630	330 556
Összesen	1 674 047	1 279 164	1 900 812	1 988 503	1 769 499	1 513 167
Magyarország	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Állományi létszám (fő)	5 863	5 393	5 094	5 099	5 085	4 913

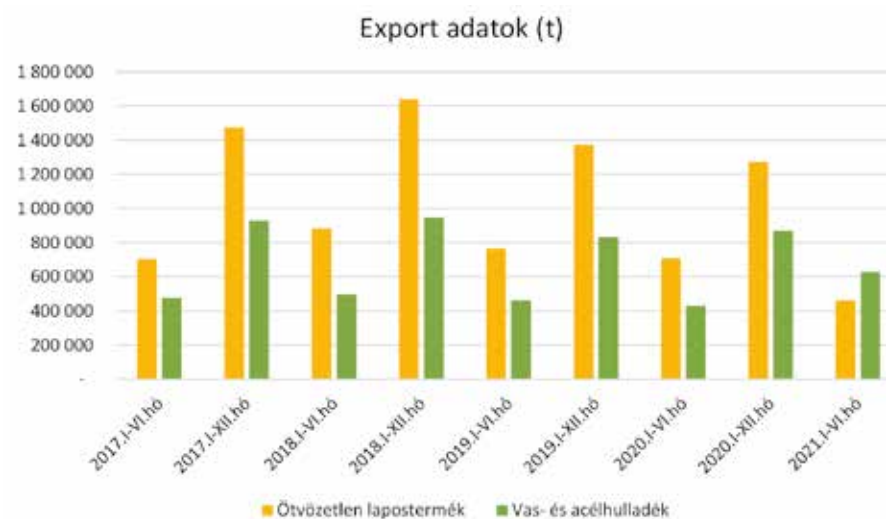
4. ábra: Magyarországi acélipari termelési, értékesítési és állományi adatok



5. ábra: A magyarországi acélimport adatai



6. ábra: A magyarországi acélbuga, valamint vas- és acélhulladék import adatai



7. ábra: A magyar acél lapostermék és hulladék export alakulása



8. ábra: A magyar acéltermék export

MI VÁRHATÓ AZ ACÉLPIACON?

A szakemberek számára rendkívül nehéz feladatot jelent gazdasági prognózisokat felállítani a világválság és az ukrajnai háború hatásai által erősen sújtott gazdasági környezetben.

Ez az előrejelzés 2022-re és 2023-ra az ukrajnai háború hatásainak figyelembevételével készült, és nagyon bizonytalan előrejelzés. A worldsteel rövid távú, 2022-re és 2023-ra szóló előrejelzése szerint az acél iránti kereslet 0,4%-kal növekszik 2022-ben, és eléri az 1840,2 Mt-t, miután 2021-ben 2,7%-kal nőtt, 2023-ra további 2,2%-os növekedés várható. *Máximo Vedoya*, a worldsteel Gazdasági Bizottságának elnöke a kilátásokat kommentálva kijelentette: „Ez a rövid távú kitekintés az ukrajnai orosz inváziót követő emberi és gazdasági tragédia árnyékában készült. Mindannyian azt kívánjuk, hogy ennek a háborúnak a lehető leggyorsabb békés vége legyen. 2021-ben a pandémiás sokkból való kilábalás, a folyamatos ellátási lánc problémák és a covid-hullámok ellenére több régióban a vártnál erősebbnek bizonyult. Kínában azonban a 2021-es vártnál nagyobb lassulás alacsonyabb globális acélkereslet-növekedést eredményezett. Majd a világválságból való stabil kilábalás reményét megrendítette az ukrajnai háború és a növekvő infláció.”

A konfliktus hatásának mértéke régióként eltérő, attól függően, hogy az adott országnak milyen közvetlen kereskedelmi és pénzügyi kitettsége van Oroszországgal és Ukrajnával szemben. A háborúnak azonnali pusztító hatása van Ukrajnára, következményei vannak Oroszországra nézve, és jelentős hatást gyakorolnak az EU-ra az orosz energiától való függés és a konfliktusövezethez való földrajzi közelsége miatt. A hatás globálisan is érezhető lesz a magasabb energia- és nyersanyagárakon – különösen az acélgyártás nyersanyagárain –, valamint az ellátási lánc folyamatos zavarán keresztül, amelyek már a háború előtt is nyugtalanították a globális acélipart. Ezenkívül a pénzügyi piacok volatilitása és a megnövekedett bizonytalanság aláássa a befektetéseket. Az ukrajnai háború ilyen globális tovagyűrűző hatásai, valamint a kínai alacsony növekedés arra utalnak, hogy 2022-ben csökkennek a globális acélkeresletre vonatkozó növekedési várakozások. További lefelé mutató kockázatokat rejt magában a vírusfertőzések számának folyamatos növekedése a világ egyes részein, különösen Kínában, valamint az emelkedő kamatok. Az Egyesült Államok monetáris politikájának várható szigorítása a pénzügyileg sérülékeny feltörekvő gazdaságoknak fog fájni. A 2023-as kilátások még nagyon bizonytalanok. Előrejelzésünk azt feltételezi, hogy az ukrajnai konfrontáció 2022 folyamán véget ér, de az Oroszországgal szembeni szankciók nagyrészt megmaradnak.



A MAGYAR GAZDASÁGI HELYZET

A 2020-as pandémia okozta válságból lényegében helyreálltak a piacok, szinte visszarendeződtek a mélypont előtti szintre. Itthon az elsődleges cél a járvány elleni védekezés fenntartása és a gazdaság újraindítása volt 2021-ben. A covid-helyzet folyamatosan rengeteg bizonytalanságot szült, ettől függetlenül éves szinten a gazdaság teljesítménye több mint 7%-kal nőtt és 8% fölötti beruházásbővülést könyvelhettünk el, a munkanélküliségi ráta pedig 4% alá csökkent. 2022 januárban és februárban a járvány után már látszódott egyfajta javulás: megindult az ipari termelés növekedése, és az export is nőni kezdett, de jött a háború, az infláció felgyorsult, az alapanyag ellátás összeomlott, az energiaárak az egekbe szöktek.

A háború miatt a közép-kelet-európai térség sokkal kockázatosabb régiója lett Európának, ami meglátszik a befektetések megítélésén, a térségi valuták árfolyamán és a kamatszintek emelkedésén is.

2022-ben egy mérsékelt növekedés várható, az erősödő belső kereslet és fogyasztás által megtámogatva.

Bár az ipart továbbra is hátráltatják a globális ellátási láncokban tapasztalható fennakadások, 2021 novemberben az ipari termelés 2,5% fölötti bővülést mutatott az előző év azonos időszakához képest, ami az októberhez viszonyítva is közel 3%-os erősödés. Ettől függetlenül a készlet- és chiphiány továbbra is rányomja bélyegét az autóipari termelésre, a legsúlyosabban érintett ágazatban továbbra is visszaesés tapasztalható, a helyreállása elhúzódhat (9. ábra).

Mutató	2020	2021	2022
GDP	-4,7%	6,1%	5,0%
Beruházás	-6,9%	8,5%	6,5%
Ipari termelés	-6,0%	9,1%	5,5%
Infláció	3,3%	5,1%	10,0%
Munkanélküliség	4,1%	4,0%	3,6%

Forrás: Kopint-Tárki

9.ábra: Magyar gazdasági mutatók

„Ha a vállalatok megtalálják az alternatív beszerzési forrásait, akkor visszatérhet az exportpotenciál a magyar gazdaságba, és bár kicsi az esély, de ha kitörne a béke, az is nagyban segítené a magyar gazdaságon.”

ACÉLIPAR

Globális és hazai szinten is a kilábalás jeleit láthattuk az iparágban 2021-ben, a kereslet és a piaci hangulat is rendkívül kedvezően alakult, akárcsak az árak: májusra tulajdon-

képpen megduplázódott a 2020-ra jellemző árszint, és az 1000 euró fölötti tonnánkénti tekercsár azóta is tartja magát, az év végi minimális korrekciót követően most ismét emelkedés tapasztalható.

Természetesen az energiaár-robbanás rendkívüli módon rányomja bélyegét az acéliparra, mint az egyik legenergiaigényesebb ágazatra. Ez hazai és nemzetközi szinten is rendkívül súlyos helyzetet eredményez, a rövidtávon kialakuló folyamatok sok esetben ellehetetlenítik az iparági szereplőket. Ez már lecsapódni látszott a 2021 utolsó negyedévben visszaeső globális termelési számokban is.

Az ukrajnai háború és az Oroszország ellen bevezetett szankciók miatt 2022 tavaszán világszerte csökkent az acélkínálat, az árak az egekbe szöktek.

Ukrajna és Oroszország a nemzetközi acélkereskedelem mintegy tíz százalékát adta – nyilatkozta *Jayanta Roy*, az ICRA indiai hitelminősítő intézet acélszakértője, aki mindkét ország exportjának jelentős visszaesésére számít.

Az EU az Egyesült Államokkal és más szövetségekkel együtt folyamatosan büntetőintézkedéseket vezet be Oroszországgal szemben, például az egyik szankciócsomag előírja az Orosz Föderációból származó „alapvető vas- és acélágazati termékek” importjának tilalmát.

Az indiai acélipari szakértő feltételezése szerint a világ két legnagyobb acéltermelője, Kína és India pótolni tudja a kieső kínálatot. India eddig acélexportjának több mint harmadát értékesítette Európában.

A Német Acélkereskedelmi Szövetség (BDS) azonban szkeptikus a távol-keleti acélszállításokkal kapcsolatban. A szállítási díjak világszerte többszörösére emelkedtek, ami a távoli régiókból történő szállítást kevésbé jövedelmezővé tette – mondta *Oliver Ellermann*, a BDS igazgatótanácsának tagja.

Az EU-ban évente felhasznált 150 millió tonna acél 20 százalékát importálják, ennek 40 százaléka Oroszországból, Ukrajnából és Fehéroroszországból származott.

ACÉLFELHASZNÁLÓ ÁGAZATOK

Nemzetközi szinten a tartós vírushelyzet ellenére az acélfelhasználó ágazatok esetében már egy mérsékelt visszarendeződést láthattunk a 2021-es év elején, aztán egy látványos, közel 30% növekedés következett az előző év azonos időszakához viszonyítva a termelésben. A teljes 2021-es évre az acélfelhasználó ágazatok kibocsátásának összességében 8% fölötti bővülését könyvelhettük el, a 2022-es évre pedig egy mérsékelt erősödést prognosztizál a worldsteel (10. ábra).

Acélfelhasználó ágazatok súlyozott termelési mutatói (%-os változás előző évhez képest, SWIP)				
Ágazat	%-os rész arány	2020 (%)	2021 (%)	2022 (%)
Építőipar	35	-4,5	6,4	4,2
Gépgyártás	14	-11,2	10,7	2,8
Közúti járműgyártás	18	-21,2	9,0	12,1
Háztartási berendezések gyártása	3	-2,8	15,0	1,4
Egyéb jármű gyártása	2	-10,6	1,0	4,3
Csőgyártás	13	-14,0	12,5	2,3
Fémtermék gyártás	14	-8,9	11,5	3,0
Egyéb	2	-8,1	7,7	2,6
Összesen	100	-10,4	8,5	4,7

Forrás: worldsteel

10. ábra: Acélfelhasználó ágazatok termelési mutatói

Az acélárak már eddig is nagy mértékben emelkedtek, az építőiparban használt acélháló ára például 50-80 százalékkal növekedett 2021 őszéhez képest. A betonacél közel 50 százalékkal lett drágább. A világvárvány miatt az árak az elmúlt két évben történelmi csúcsot értek el –mondta Ellermann. Tájékoztatása szerint ennek fő oka a megnövekedett energiaköltségek, a nyersanyagok, az érc, a kokszolható szén és a vashulladék piacán kialakult árharc, valamint a megemelkedett fuvardíjak voltak.

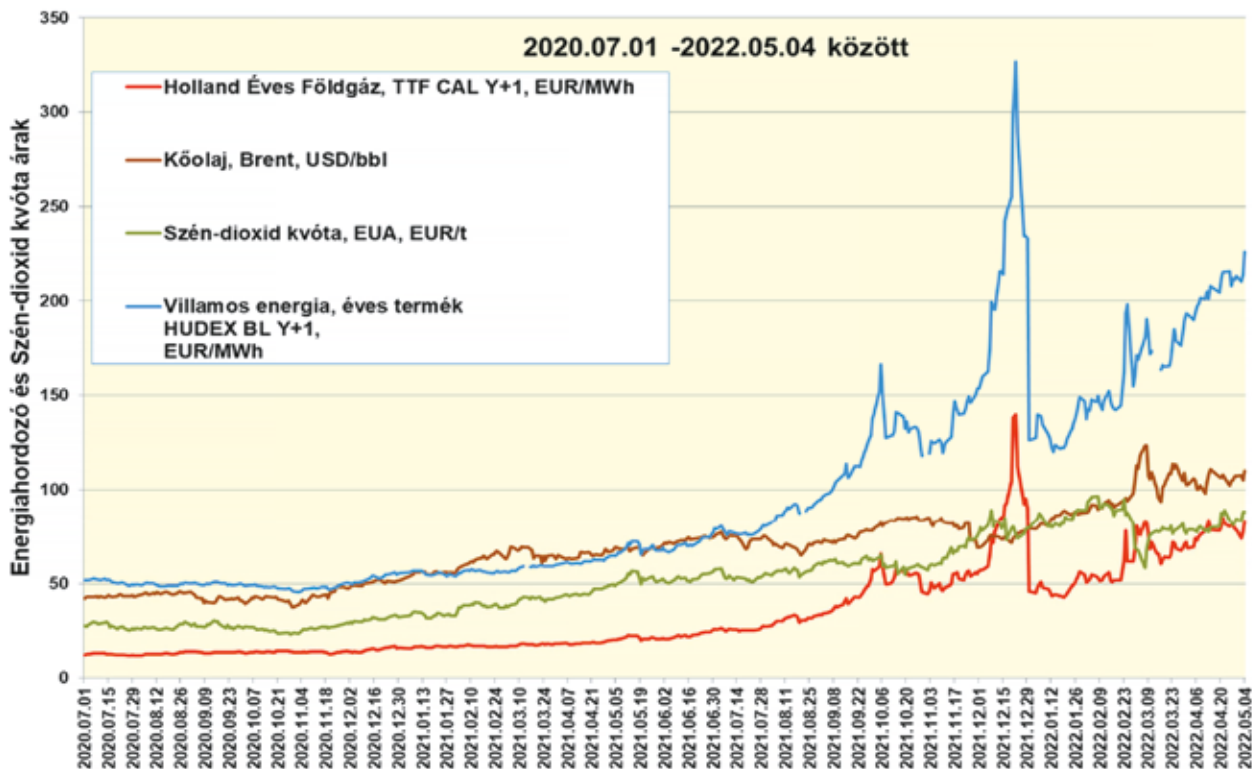
A sok bizonytalanság és negatív tényező mellett alapvetően biztató előjeleket láthatunk, a válságot követő erőteljesebb visszapatannást követően az acéliparban is további

növekedésre számíthatunk. A pozitív scenárió bekövetkezéséhez ugyanakkor elengedhetetlen az európai és állami szintű, az ipari szereplőknek nyújtott segítség az energiaválság okozta teljes iparági válság elkerülése érdekében.

NYERSANYAG- ÉS ENERGIAÁR ROBBANÁS

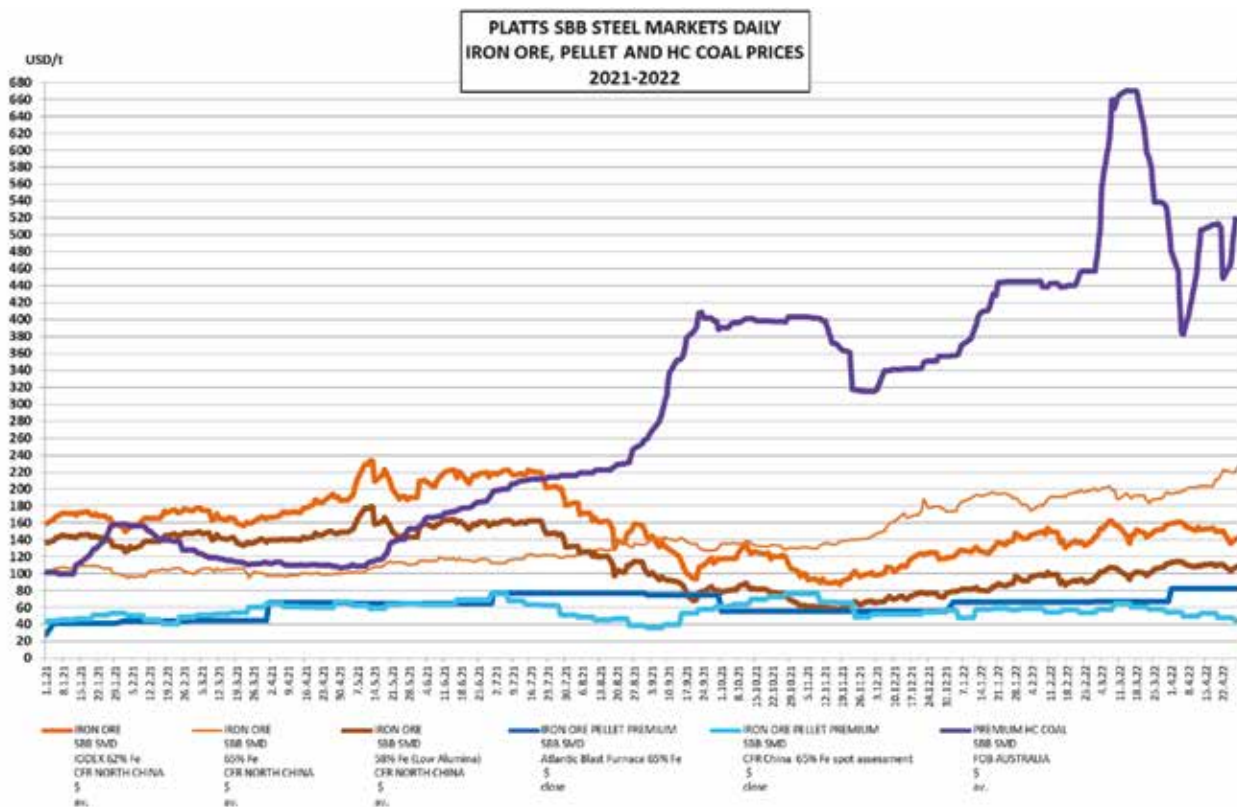
Az acélipar anyag-, környezet- és energiaintenzív ágazatként aggódva figyel és tapasztalja 2021. szeptember óta az energiapiacokon (földgáz, villamos energia) kialakult extrém magas energiaárakat. A néhány hónap alatt korábban soha nem látott magasságba szökkent energiaárak a gazdaság minden területén érzetik közvetlen vagy továbbgyűrűző hatásukat, a hazai energiaintenzív iparágak működését, köztük az acélipari termelést azonban különösen veszélyeztetik (11. ábra).

A 11. ábra alapján 2021 közepéig az energiaárak stabilan alacsony szinten voltak: a földgáz ára 20 €/MWh körül volt, a kőolaj ára 40-60 USD/bbl között mozgott, a villamos energia 60-80 €/MWh között volt, és a szén-dioxid kvóta ára fokozatosan 25 €/t-ról 60 €/t-ra emelkedett ez alatt az egy év alatt. Majd ezután az energiaárak jelentős emelkedésnek indultak és extrém magas szintekre is emelkedtek rövid időszakokra, akár napi szinten is. Jelenleg a földgáz ára

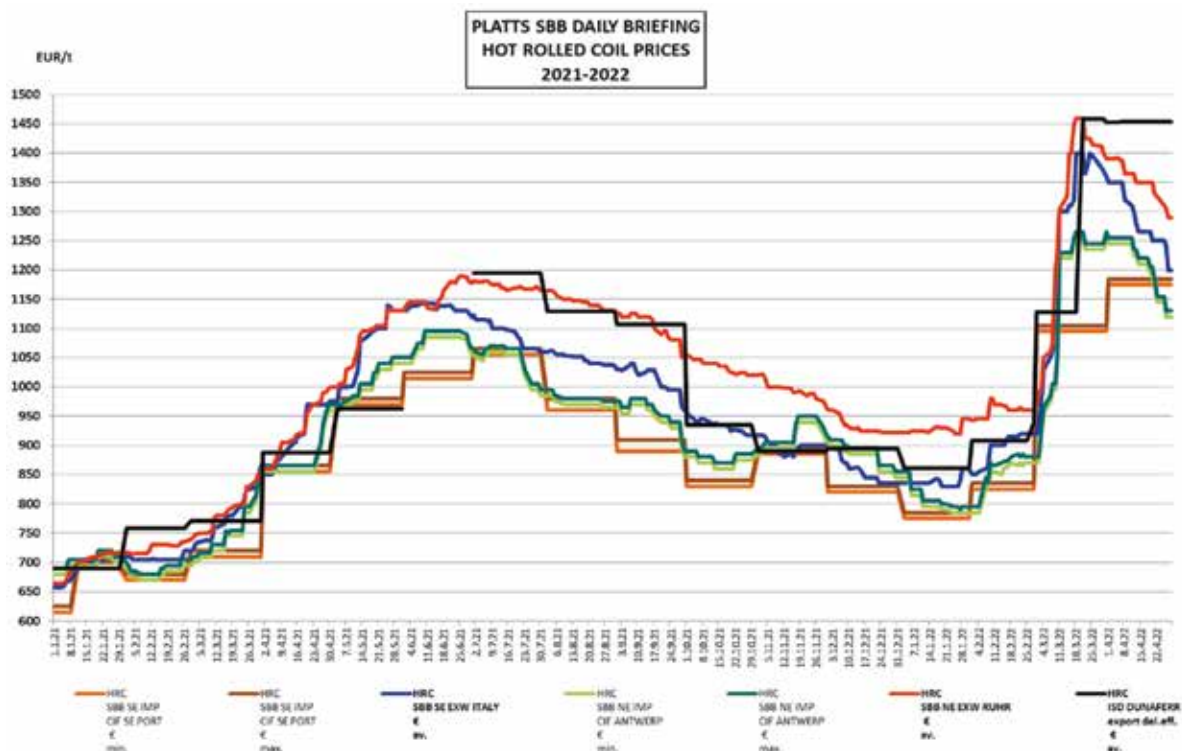


(A hudex.hu, theice.com, powernext.de adatai alapján szerkesztette Kun Erika)

22. ábra: Energiahordozók és a CO₂ kvóta árváltozása 2020. 07.01 és 2022 05.05 között



12. ábra: Vasérc, pellet és koksizható szén árak változása, 2021-2022



13. ábra: Melegen hengerelt acéltékercs árak, 2021-2022

100 €/MWh körül mozog, a villamos energia 200-230 €/MWh, kőolaj 10-120 USD/bbl áron vásárolható. A szén-dioxid kvóta ára 80-90 €/t jelenleg.

A jelenlegi magas, és sok esetben rövid távon hisztérikus emelkedésű energiaárak Magyarországon főleg az ipari fo-

gyasztókat sújtják. Az energiaintenzív fogyasztók (acélipar, műtrágyagyártás, vegyipar stb.) mindennapi gazdálkodási döntéseiben hangsúlyos szerepet kap az energiaár, és a termelés leállítása, folytatása, csökkentése függ az aktuális energiaáraktól.

A globális energiaválság mellett a kohászati alapanyag-árak – főként a kokszolható szén ára – is jelentősen emelkedett az elmúlt időszakban és a beszerzési források kényserű szűkülése és módosulása is nehezíti a hazai kohászat helyzetét (12. ábra).

Hiába a magas acélár, sok esetben a magas alapanyag-és energiaárak nem, vagy csak nehezen érvényesíthetők az acélárakban, folyamatos elemzésre, folyamatos napi szintű újratervezésre kényszerítve a gyártókat (13. ábra).

Az Ukrajnát körülvevő geopolitikai helyzet jelentős, hosszú távú következményekkel jár a globális acéliparra nézve. Ezek közé tartozik a globális kereskedelmi irányok, és az energiakereskedelem változása, és annak a zöldátmenetre gyakorolt hatása, valamint a globális ellátási láncok folyamatos újrakonfigurálása.

AZ ACÉLIPAR JÖVŐJE

Az acélipar elkötelezett az energiapolitikai célok megvalósításában, a zöld átálláshoz szükséges acélapanyagok biztosításában, valamint a hosszú távú karbonmentes technológia-váltásban. Az acélipar nagy mértékben hasznosítani tudja az előállított zöld energiát, valamint képes a jelenlegi környezetigényes technológia átalakítására, környezetbarát gyártási folyamattá.

Az áttörést jelentő acélelőállítási technológiák hidrogén-és megújuló energia alapúak lennének: ez azt is jelenti, hogy begyűjtik és tárolják vagy nyersanyagként felhasználják a CO₂-t, hogy termelésük környezeti lábnyoma a lehető legjobban közelítsen a nullához (14. ábra).

Az acélipar zöld átállását biztosító technológiaváltás során a CO₂-kibocsátás csökkentési eljárásoknak alapvetően két iránya különböztethető meg: a Smart Carbon Usage (SCU) és a Carbon Direct Avoidance (CDA) technológia.



14. ábra: Acélipari innovatív zöld technológiák

A Smart Carbon Usage (SCU) folyamat során a keletkező szén-dioxid begyűjtése, majd tárolása Carbon Captur and Storage (CCS) vagy a begyűjtött CO₂ valamilyen vegyipari termék előállításához nyersanyagként történő felhasználása Carbon Captur and Usage (CCU) technológiával történik. A nyersvasgyártás során keletkező szén-dioxidot összegyűjtik, elválasztják más gázoktól. A szén-dioxidot ezután csővezetéken vagy hajón szállítják egy szárazföldi vagy tengeri tárolóhelyre vagy nyersanyagként, üzemanyagként vagy biomasszaként használják fel.

A felhasználás lehetséges módja a metanol szintézis: $CO_2 + 3H_2 = CH_3OH + H_2O$. A metanol értékes termék, melyet fosszilis eredetű üzemanyagok helyettesíthetők.

A CCUS-rendszerek előnye, hogy meglehetősen egyszerűen integrálhatók a meglévő hagyományos üzemekbe. A technológia független az acélgéártástól, más iparágakkal megoszthatják a fejlesztési és infrastrukturális költségeket (például a szintetikus üzemanyagok piaca, szállítás, raktározás stb). A jövőbeni működési költségek nagyrészt kiszámíthatók.

A technológia hátránya, hogy a CCUS nem lesz teljesen szén-dioxid-semleges, a szén-dioxid-tárolás elfogadottsága nem garantált, a kisebb szárazföldi tárolóhelyek kivételével, az Északi-tenger kínálja az egyetlen megfelelő nagy tárolóhelyet Európában. A CCUS berendezések emelik a karbantartási terheket és a leállási időket is, ami jelentős háttal van az üzemeltetési költségekre.

A Carbon Direct Avoidance (CDA) eljárásnál a metallurgiai folyamat során a karbon kiváltása valamilyen egyéb redukáló ágenssel/módszerrel történik. A metallurgiai módszer a szén-dioxid keletkezésének megelőzésén alapul. Lényege, hogy az acélgéártás alapanyagául szolgáló nyersvas előállításához a vasérc redukcióját karbon helyett hidrogénnel végezzük, így a nyersvasgyártás CO és CO₂-kibocsátása közel nullára csökkenthető.

A módszer teljesen új infrastruktúrát igényel, a BF-BOF nyersacélgéártási technológiai kiváltása szükséges hozzá.

A hidrogén redukálóágensként történő felhasználására az ún. direkt redukciós eljárás során mutatkozik a legjobb esély. Ennek a folyamatnak a terméke a direkt redukciós eljárással előállított nyersvas, direkt redukált vas (DRI) vagy más néven vasszivacs) vagy hot-briquetted iron (HBI), amelyet elektrokemencében (EAF) történő acélgéártásra használhatunk fel.

Ha csak kizárólag zöld villamos energiával működik a folyamat, akkor az elsődleges acélgéártási utat szén-dioxid-semlegessé és fosszilis üzemanyag-mentessé tesszük.

Az egyéb előnyök közé tartozik a magas termelési rugalmasság is: a gyártási folyamat könnyen elindítható és leállítható.

tó, illetve a kisebb egységek használata nagyobb rugalmasságot tesz lehetővé. A technológia azon képessége, hogy a DRI-t HBI-ként táplálják be a BF-BOF rendszerbe, azt jelenti, hogy a meglévő hagyományos barnamezős üzemek működtethetők, miközben a tengelykemence / EAF termelés felfut.

A hátrányok közé tartozik, hogy a folyamathoz továbbra is vasércpelletekre van szükség, amelyek előállítására is pelletgyár hőforrásától függően jelentős emissziókibocsátást okozhat. A nagy mennyiségű hidrogénszükséglet kielégítésére hatékony, nagyméretű elektrolizálókat kell kifejleszteni és építeni.

A folyamathoz óriási mennyiségű olcsó, zöld villamosenergiára is szükség van, így jelentős zöld energiatermelés is szükséges. Bizonytalanság van a jövőbeni működési költségek körül is, például a hidrogén- és villamosenergia-árakkal kapcsolatban, bár a magas energiaárak kedveznek a zöld átállásnak.

ÖSSZEFOGLALÁS

Különlegesen nehéz és kiszámíthatatlan, válságokkal (pénzügyi válság 2008, covid járvány, orosz-ukrán háború) sújtott időköt élünk, ahol a közép- és hosszú távú üzleti tervezés inkább tekinthető vakrepülésnek vagy jóslásnak, mintsem tudatos kockázatelemzésnek és stratégiának. Magas az infláció és gyenge a magyar forint, a hagyományos ellátási láncok összedőltek, alapanyag- és chiphiány van, az energiaárak extrém magasak, a gazdasági növekedés lassul, globális szinten élelmiszerválság várható.

Mindezek mellett az egyre növekvő fenntarthatósági kihívások minden társadalmi-gazdasági szereplő számára lépéskényszert jelentenek globálisan és országok, ágazatok szintjén egyaránt. Európa 2050-re, Kína 2060-ra klíma semleges kíván lenni és az USA is a zöldgazdaság kiépítése irányában indult el.

A világ gazdaságában az acél kiemelt fontosságú anyag, mivel az egész értéklánc mentén alátámasztja a fő feldolgozóipari ágazatok fejlődését és nagy előnye, hogy az acél 100%-ban újrahasznosítható. Az acél a modern gazdaság alapját képezi, szilárdsága, szívóssága és viszonylag alacsony előállítási költségei miatt ott van az épületekben, a hidakban, az óceánjáró hajókban, a vonatokban, az autókban, a háztartási eszközökben és a fegyverekben is. Szinte minden üvegházhatású gázkibocsátást csökkentő technológia az acélon alapszik. Ide tartozik a termál- és megújuló energia, a villamosítás, a tömegközlekedés reformja, valamint a hidrogénalapú gazdaság is.

A fenntarthatósági célok elérése érdekében azonban – mint a legtöbb ipari szektor – az acélipar sem tudja ma-

gát kivonni az össztársadalmi kihívások, például a hatékony erőforrás-menedzsment, a klímaváltozás, a szociális mobilitás, a modern városi környezet és az innovatív társadalmak jelentette kihívások alól.

Az is tény, hogy az acélipar reformja nélkül meddő küzdelem a klímaváltozás elleni harc, az iparág „zöldítése” elengedhetetlen, melynek technológiai irányai megvannak, vagy kutatási fázisban vannak. A műszaki követelmények óriásiak: önmagában az ágazatunknak 400 TWh megújuló villamos energiára, ebből 250 TWh-ra az 5,5 millió tonna hidrogén előállításához van szükség. Ez megegyezik Németország jelenlegi éves villamosenergia-igényével, és erre a mennyiségre 2050-től minden évben szükség lesz.

Ennek a technológiaváltásnak a tőke- és működési költségei jelentősek, az így előállított acél tonnánkénti költsége 35–100 százalékkal magasabb a hagyományos technológiához képest. Ez az oka annak, hogy az alacsony széndioxid-kibocsátású jövőbe való acélipari átmenet nagy mértékben függ a megfelelő támogató feltételek meglététől.

A magyar acélipar is nehéz helyzetben van, napi szinten küzdelmet jelent az energia- és alapanyagbeszerzés, a magas árak, a logisztikai problémák, a piaci körülmények folyamatos változása és nem utolsósorban a szakemberhiány. A termelés fenntartása is kihívás, jelenleg a magyar acélipar az életben maradásért küzd. Állami szerepvállalás (ösztönzőrendszerek, pályázatok, zöldhitelek, szakemberképzés stb.) nélkül nehezen képzelhető el a magyar kohászat zöld átállása, de a szakemberek mindent megtesznek a hazai kohászat fennmaradásáért és a zöld átállás érdekében.

FORRÁSOK

- <https://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2022/worldsteel-short-range-outlook-april-2022/>
- <https://www.portfolio.hu/ingatlan/20220312/jobb-lesz-felkeszulni-egekben-szokik-az-acele-ara-az-ukrajnai-haboru-miatt-532991ps://worldsteel.org/media-centre/press-releases/2022/march-2022-crude-steel-production/>
- <https://www.eurofer.eu/publications/position-papers/a-green-deal-on-steel-update/>
- Lukács Ákos: A fenntarthatósághoz kötött kötvénypiacok és üzleti lehetőségek bemutatása (előadás)
- Szalai Dániel kereskedelmi szakértő, MVAE: Mérsékelt erősödés, fenyegető energiaválság

FORRADALMI EMLÉKMŰ A BUDAPESTI 56-OSOK TERÉN

A főváros egyik meghatározó közterületi műalkotása, az 1956-os forradalom és szabadságharc emlékműve a Városligetben, az 56-osok terén áll. Az I-Ypsilon alkotócsoport (*Emödi-Kiss Tamás és Papp Tamás* építésszek, *György Katalin és Horváth Csaba* képzőművészek) alkotása fontos látványelemeként határozza meg környezetét a teljes rekonstrukción átesett városligeti környezetben, a Néprajzi Múzeum szomszédságában. Az emlékmű megvalósításának előkészületeiben dunaferres szakemberek is részt vettek. Az alkotók több alkalommal is jártak a Vasműben, ahol *dr. Horváth Ákossal* és munkatársaival vették fel a kapcsolatot. A megbeszélések során az acélipari szakemberek megismertették az alkotókat a különféle anyagok tulajdonságaival, természetével, felhasználva a helybeli, évtizedes acélszobrászati tapasztalatokat.

A monumentális műalkotást 2006. október 23-án avatták fel. Az egymásba karoló embereket, a zárt alakzatban haladó tömeget jelképezi az oszlopok által megjelenített ék

forma, amely 2006 darab, változó magasságú, 23×23 cm-es, négyzet alapú vasoszlopokból áll. A 35 méter élhosszúságú, egyenlő szárú háromszöget alkotó vasoszlopokból álló ék éle mintegy „felhasítja” a tér kockakövekből épített burkolatát. A park felőli, embermagas, álló oszlopok felületét rozsdá borítja, és olyan elszórtan helyezkednek el, hogy közjüket be tud lépni a látogató. Az ék csúcsához közeledve a már rozsdamentes acél felületűvé változott oszlopok tömbbe tömörödnek, magasságuk 1,9 métertől 8 méterig nő. A két anyagminőség, a felületek struktúrája fokozatosan mosódik át egymásba a mű hossza mentén.

Az alkotók szándéka szerint a Liget felől álló alacsony oszlopok, rozsdás, „gyenge” anyaga az önmagukban gyenge, hétköznapi embereket szimbolizálja, akik nem voltak tudatában, hogy hőské válnak. Az ék csúcsának erős, csillogó rozsdamentes acélja szimbolizálja, hogy közösen már olyan erőt jelentett a tömeg, amely meg tudta rendíteni az elnyomó hatalmat, megcsillantva a szabadság eszméjét.

SZILÁGYI IRÉN Fotó: NÉMETH ZSOLT

