

Megtermelni és megtartani Energiatárolás felsőfokon

Energia – interdiszciplináris workshop ATOMKI

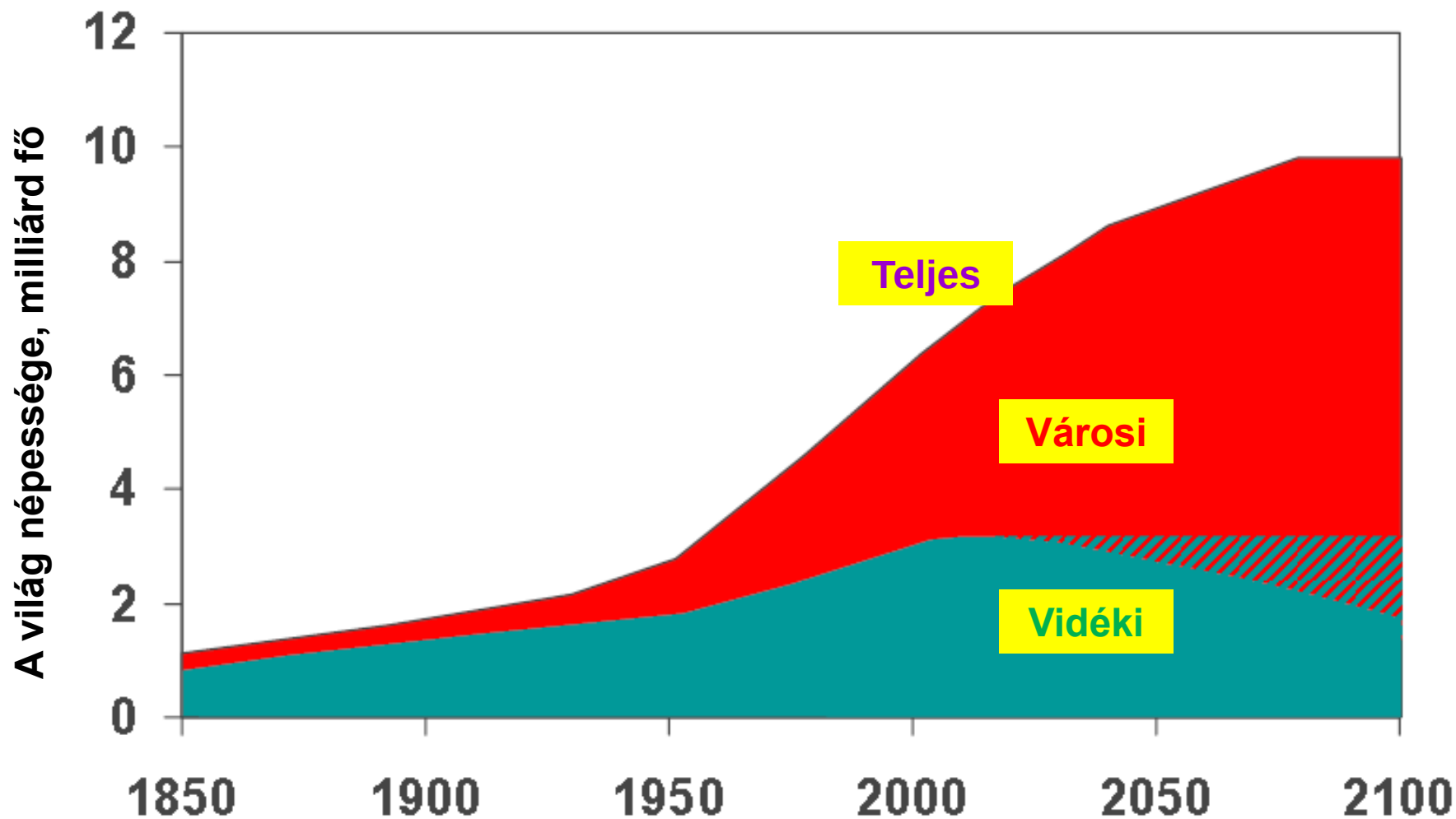
Dr Vajda István egyetemi tanár
Óbudai Egyetem
Automatika Intézet
vajda@uni-obuda.hu

Tartalom

- **Mozgatóerők**
- **Igények a tárolásra**
- **A tároló eszközök jellemzői**
- **Nagyméretű tárolók**
- **Villamos járművek kihívásai**
- **Szupravezetős energiatárolók**

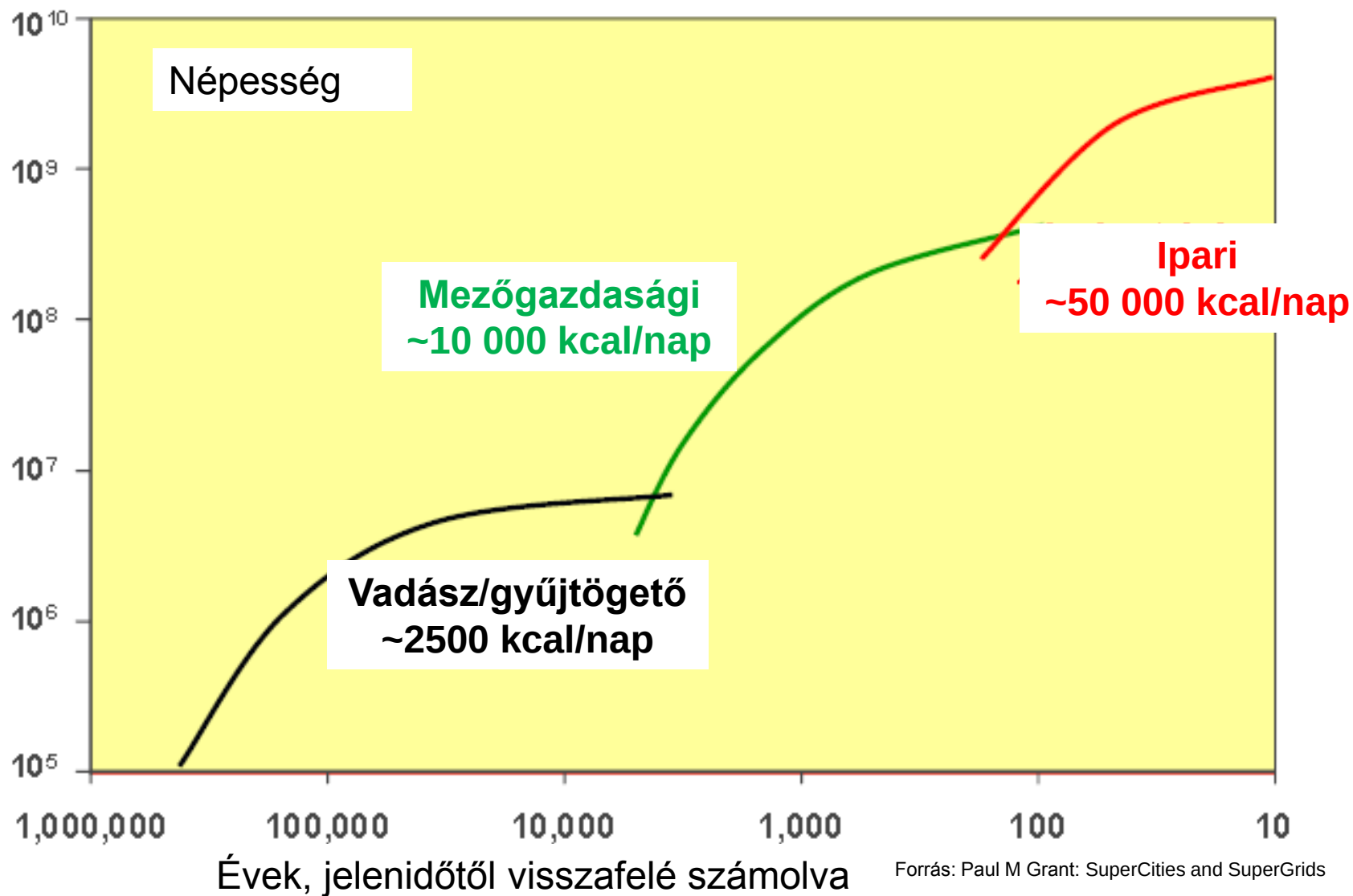
1 Mozgatóerők

A világ népessége: 1850 - 2100



Forrás: Paul M Grant: SuperCities and SuperGrids

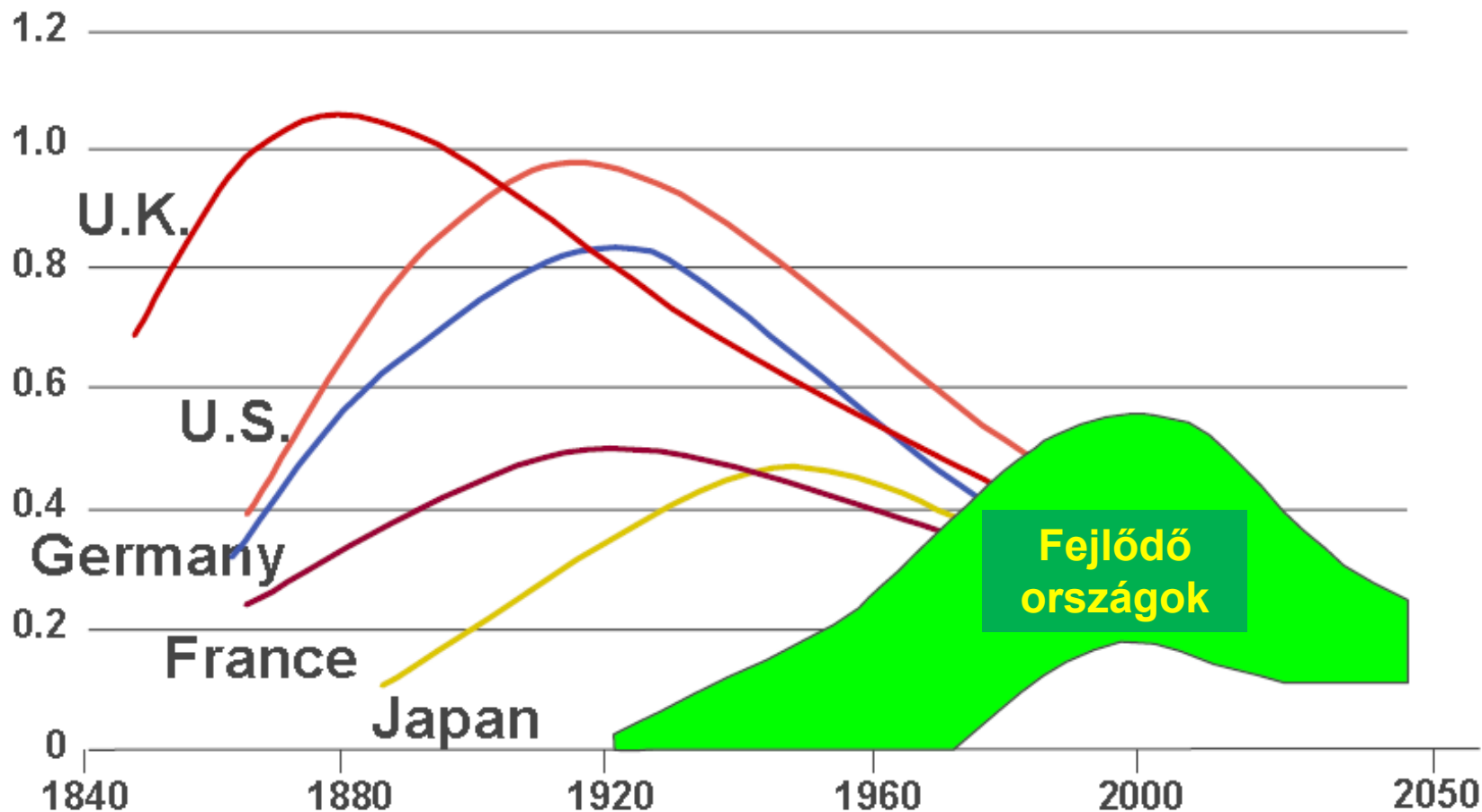
Energia – demográfia időgrafikon



A fejlett iparosodás segít az energia-hatékonyságban

Energia hatékonyság (MTOE/\$1,000 GDP)

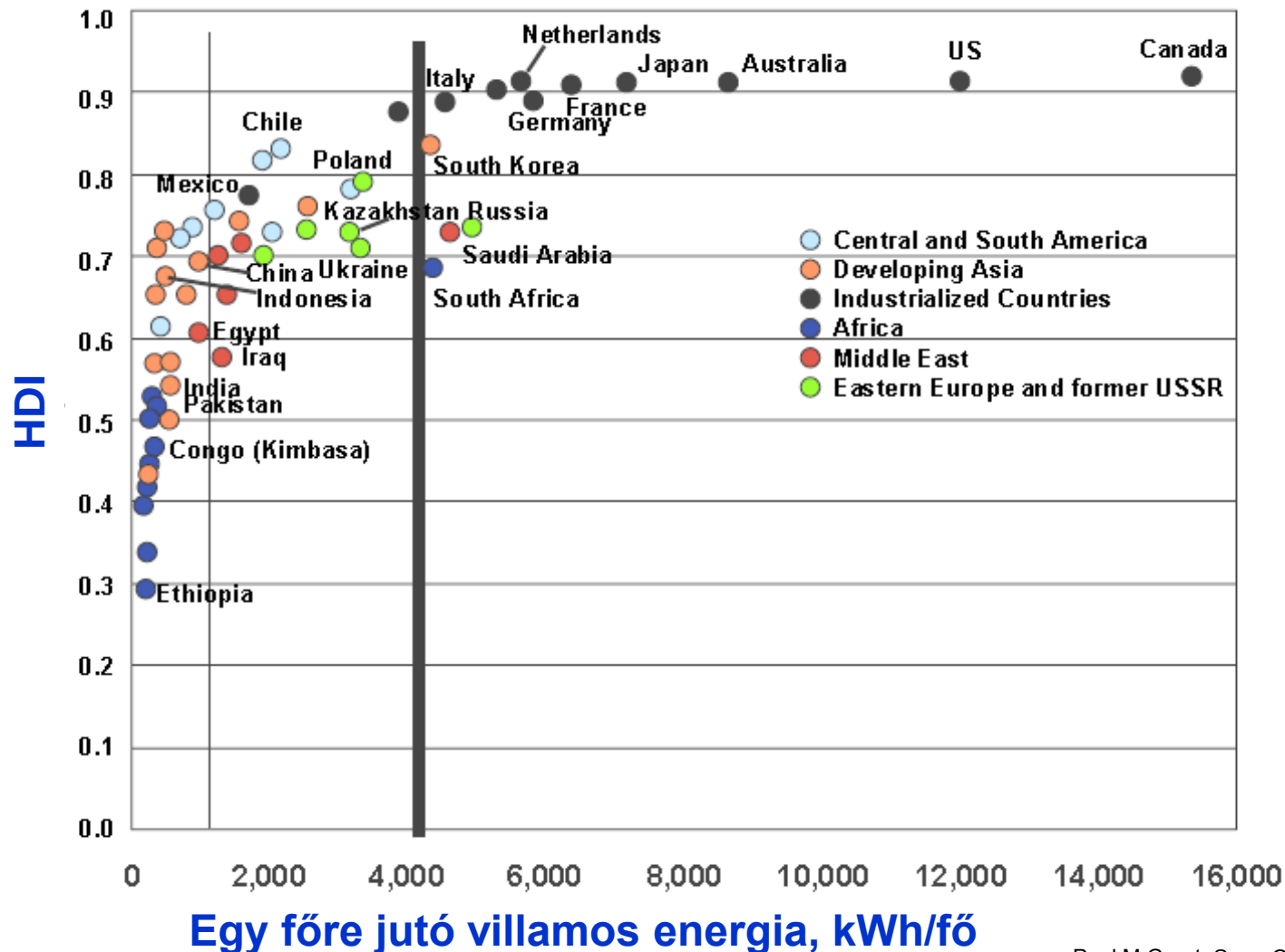
MTOE = Millió tonna
olaj-egyenérték



Forrás: Paul M Grant: SuperCities and SuperGrids

HDI vs egy főre jutó villamos energia

HDI = human development index $\Rightarrow$ élettartam + írástudás + képzettség + életszínvonal



Paul M Grant: SuperCities and SuperGrids

2 Igények a tárolásra

Mik a lehetséges motivációk?

- Az energia-igény változásai
- Az energia-szolgáltatás változásai
- Az energia-szolgáltatás megszakadásai
- Torlódás az átvitelben
- Hordozható energia iránti igény
- Az energia-rendszerek hatásfoka
- Energia visszanyerés

Az ellátás vs igény lehetséges megoldásai

- Többlet termelő kapacitás plusz elosztó rendszer
- Igény oldali szabályozás (menedzsment)
- **Energiatárolás**

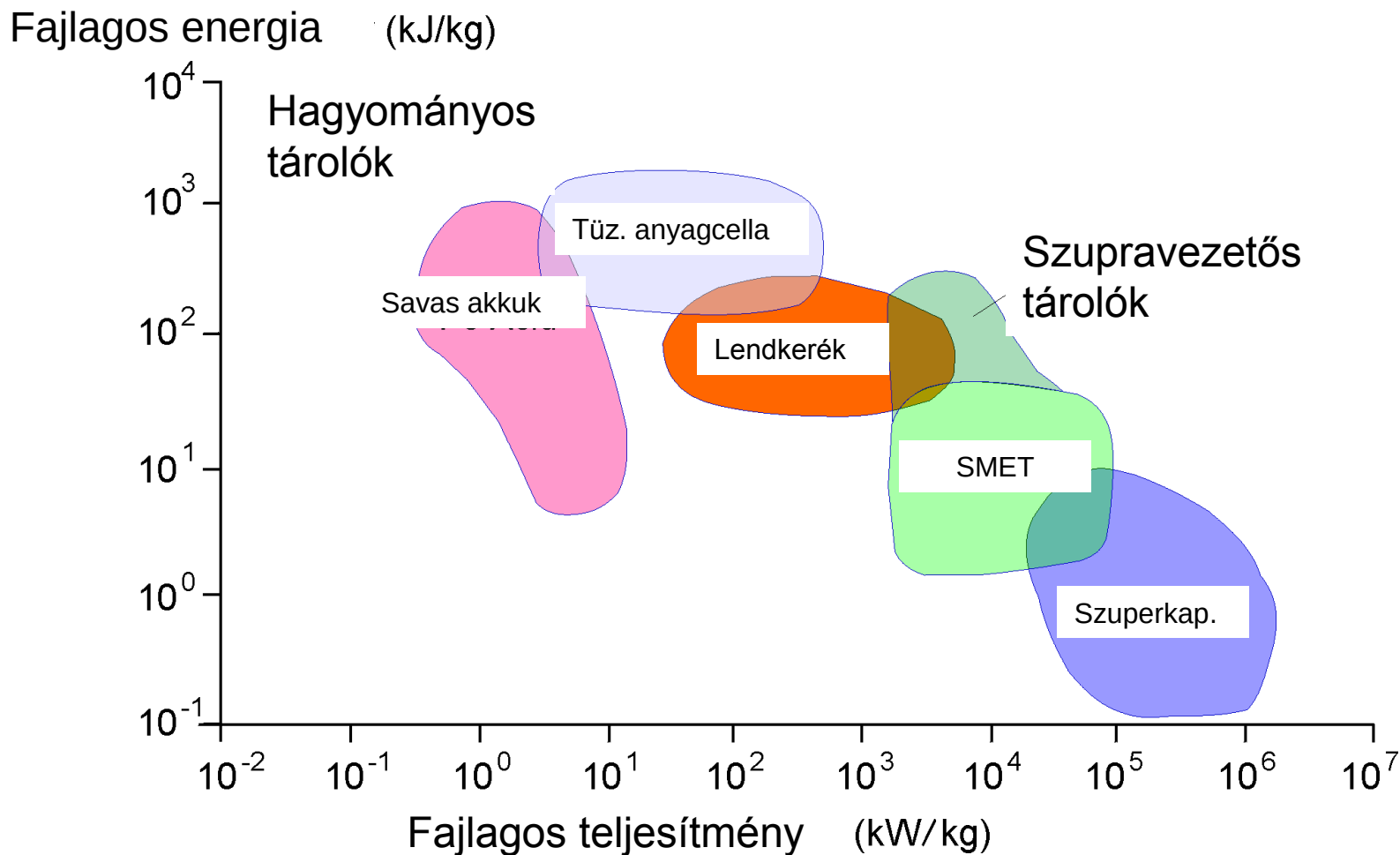
3 A tároló eszközök jellemzői

Teljesítőképeességet jellemző tényezők

- **Töltési** időtartam és hatásfok
- **Kisütési** időtartam és hatásfok
- **Irányíthatóság** és terhelés követő képesség
- Léptékkal szembeni **rugalmasság**
- **Tartósság**
 - Ciklusszám (élettartam)
- Tömeg és térfogat
 - **lábnyom**
- **Üzembiztonság**
 - Tűz- és robbanásbiztos
 - nem mérgező
- A beépített anyagok könnyű **újrahasznosítása** és **visszanyerése**

Az energia és a teljesítmény egyaránt fontos!!!

Energiatároló rendszerek alkalmazási ablakai



Energiatárolók átfogó összehasonlítása

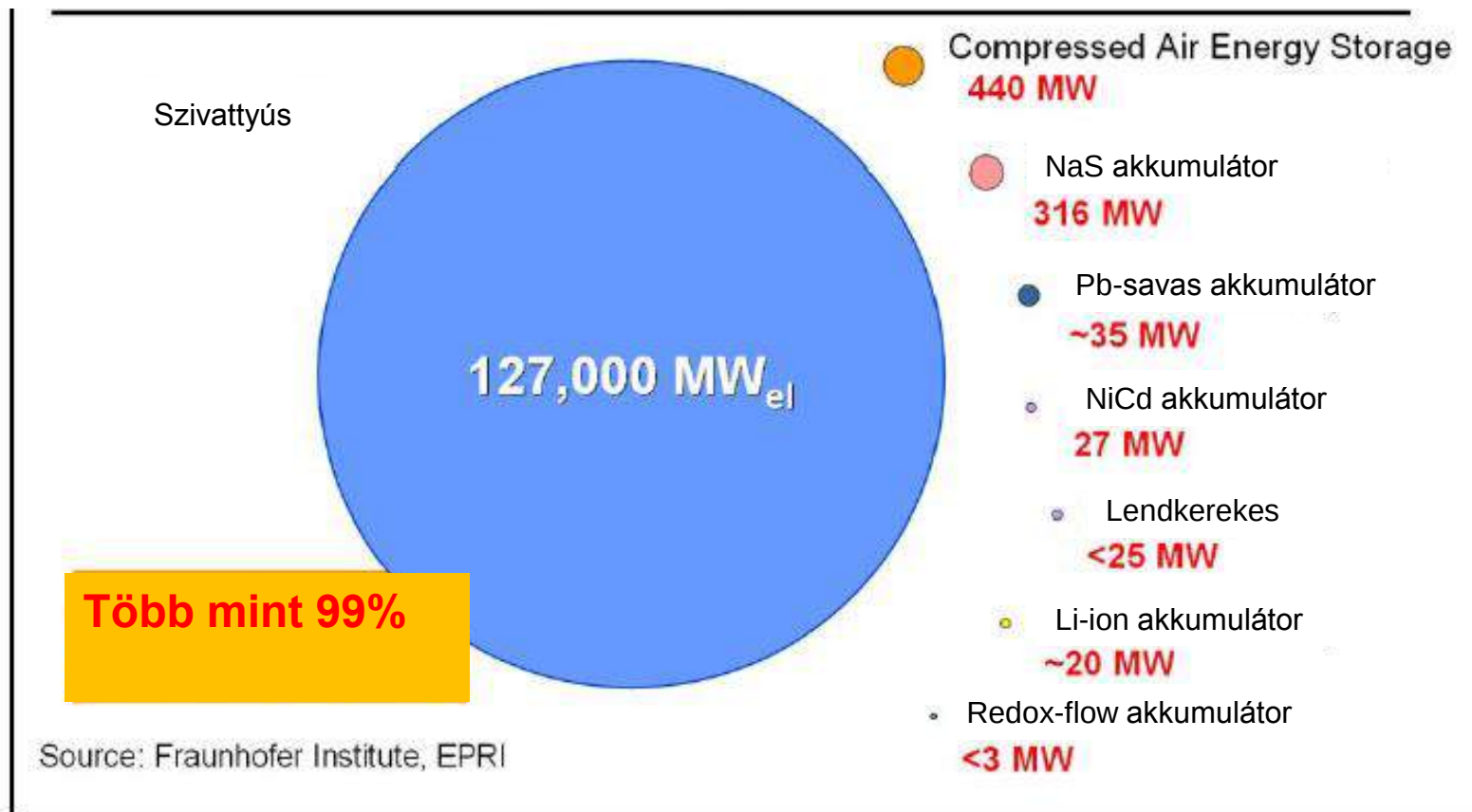
Villamosenergia tárolás módja	Előnyei	Hátrányai	Alkalmazhatóság egyedi tápellátásban.	Alkalmazhatóság villamosenergia-rendszerben
Szuper kapacitások	Hosszú élettartam, jó hatásfok	Alacsony energia sűrűség	Igen	Tervezik, áthidaló jelleggel
Lendkerekes (Flywheels)	Nagy teljesítmény	Alacsony energia sűrűség	Igen	Ritkán, áthidaló jelleggel
Savas ólom akkumulátor	Olcsó	Alacsony élettartam, mélykisütéskor	Igen	Ritkán, áthidaló jelleggel
Ni-Cd – akkumulátor	Nagy teljesítmény, jó hatásfok	Nincs	Igen	Tervezik, áthidaló jelleggel
Li-ion - akkumulátor	Nagy teljesítmény, jó hatásfok	Magas ár	Igen	Tervezik, áthidaló jelleggel
NaS Nátrium-Kén akku	Nagy teljesítmény, jó hatásfok	Jelenleg még magas ár	Igen	Tervezik, erőművi léptékben
Szupravezetős mágneses tárolás (SMES)	Nagy teljesítmény	Magas költség	Igen	Ritkán, áthidaló jelleggel

Energiatároló típus	Tipikus önkisülés [%/nap]
Ólom akkumulátor	0,13-0,2
NiMH akkumulátor	0,04-1
LiIon, LiPolimer akkumulátorok	0,07-0,1 (+0,1)
NiCd akkumulátor	0,4-0,7
Ultrakapacitás	1-8
Lendkerék	3-24



Forrás:
Dr Kohári Z, PhD disszertáció, BME VET

Üzemelő tárolókapacitások a világon, 2010



EPRI report, 2010

4 Nagyméretű tárolók

Szivattyús és mikroszivattyús

Akkumulátor

Sűrített levegős

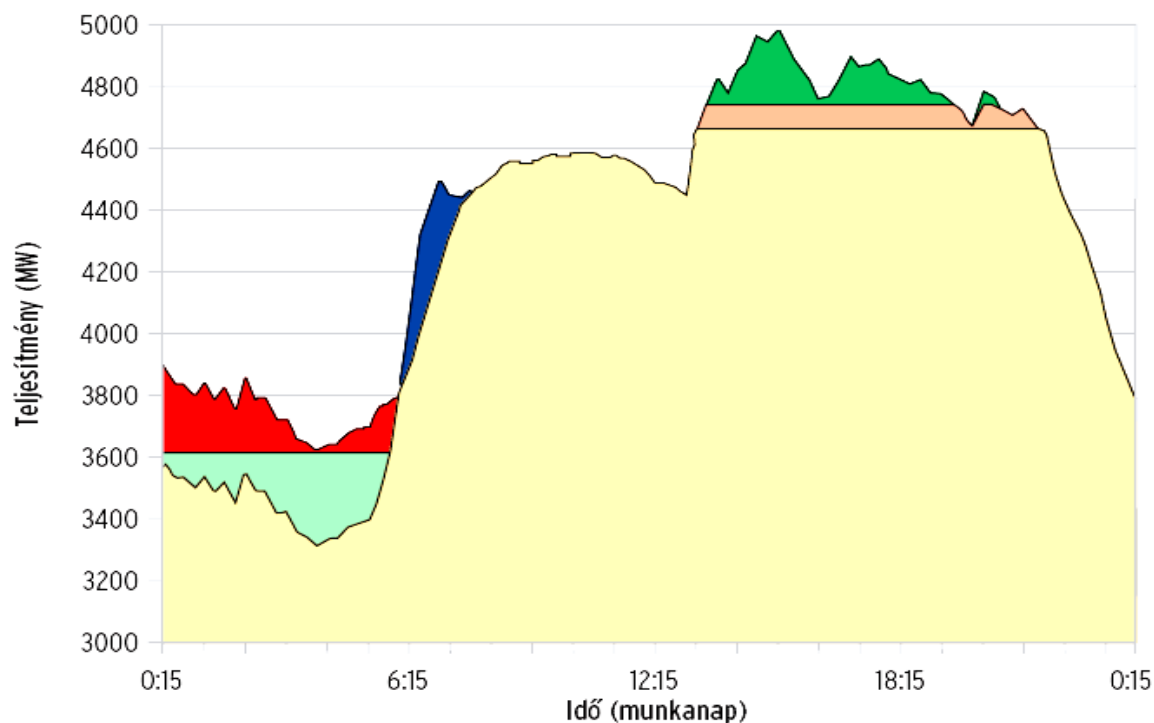
SMET

Lendkerekes

Kádár P-Vajda I, MTA 2012

SZIVATTYÚS TÁROZÓ

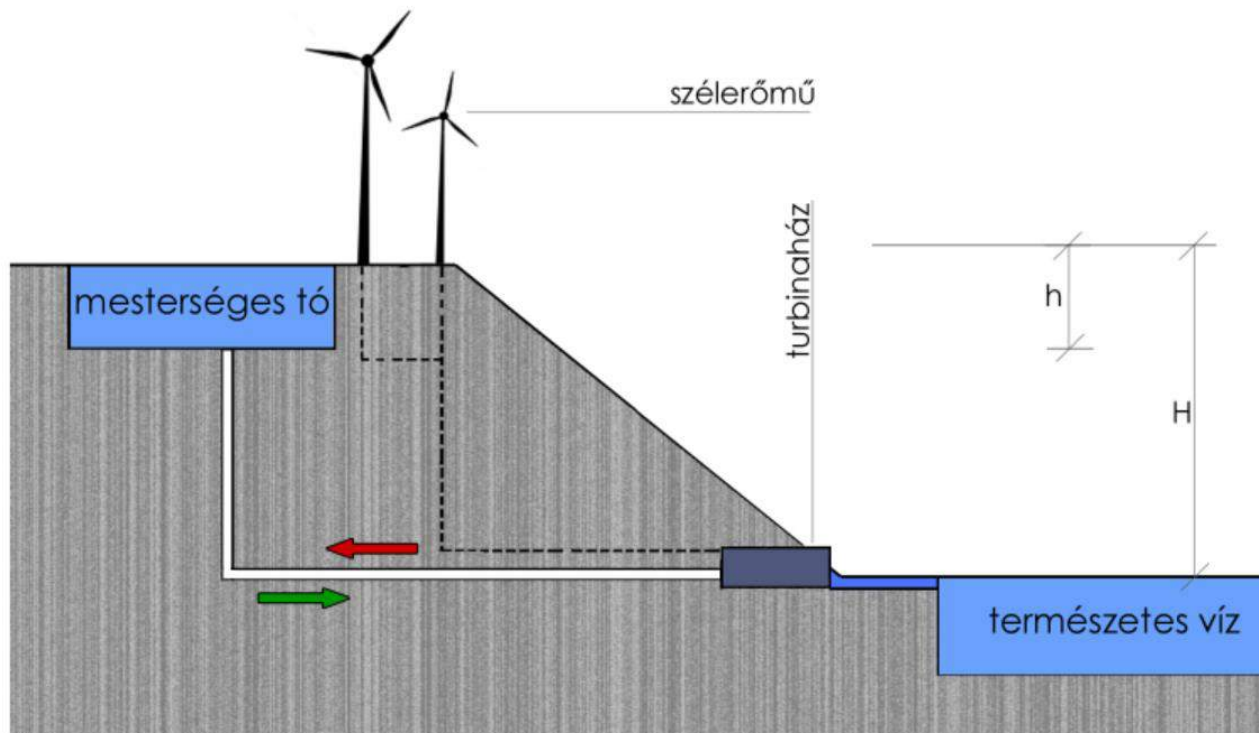
Hazai koncepció (TERV!)



- Tározóértékesítés (0,73 Tározó alaptöltés)
- Tározó többletértékesítés (,0,75 Tározó többlettöltés)
- Gyors felterhelés (max. 300 MW)
- Tározó többlettöltés egyenletes (max. 300 MW)
- Tározó alaptöltés (max. 300 MW)
- Rendszer eredeti (töltés alatti) és módosult (értékesítés alatti) teljesítménye

Dr Gerse, 2007

Hazai koncepció mikroszivattyúsra (TERV!)



AKKUMULÁTOROK

Példa: NiCd akkumulátoros tároló, Alaszka

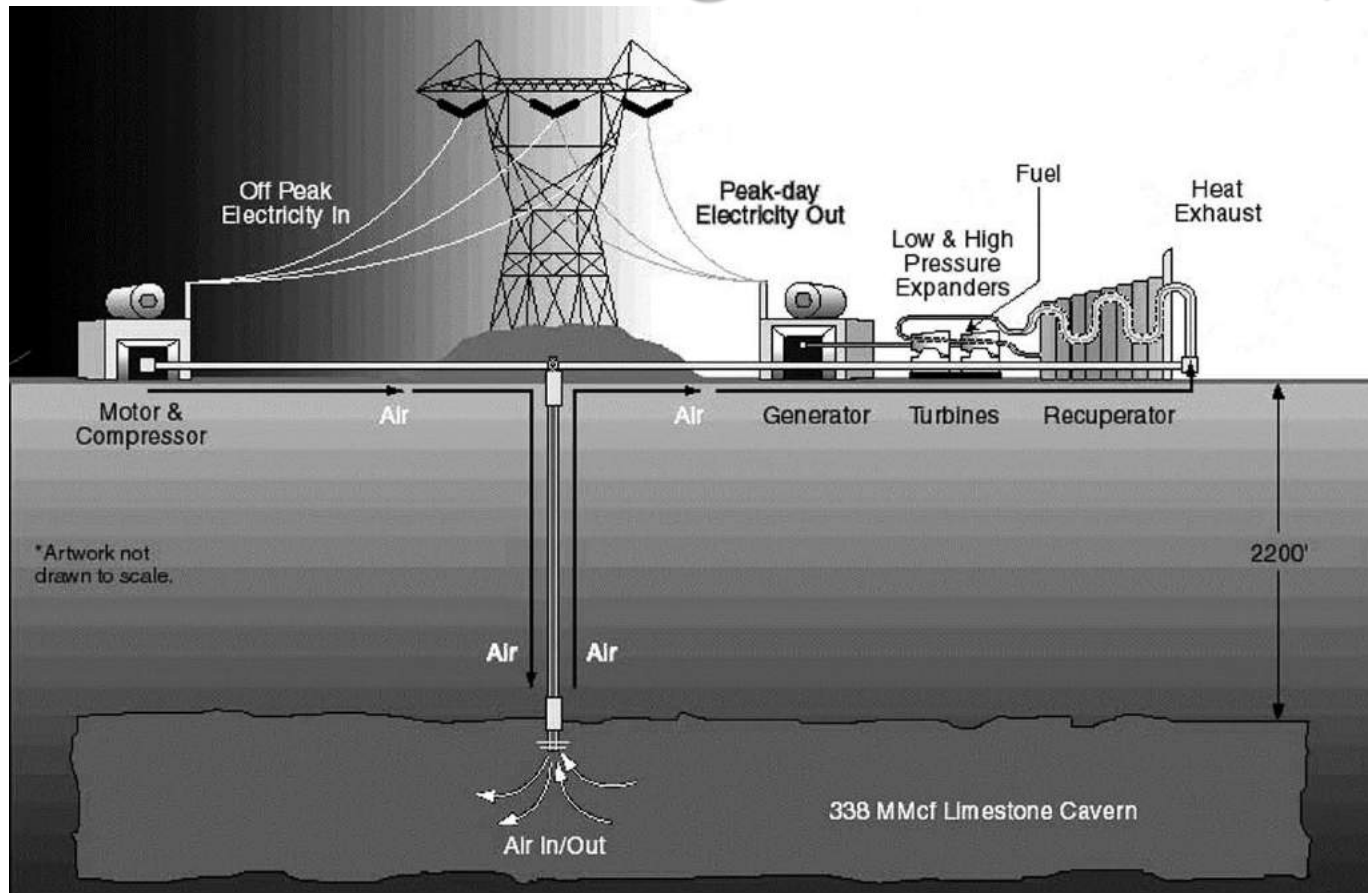


46 MW/15 perc kapacitás

www.electricitystorage.org

SŰRÍTETT LEVEGŐS TÁROLÓ

Tervezett sűrített levegős tároló sémája

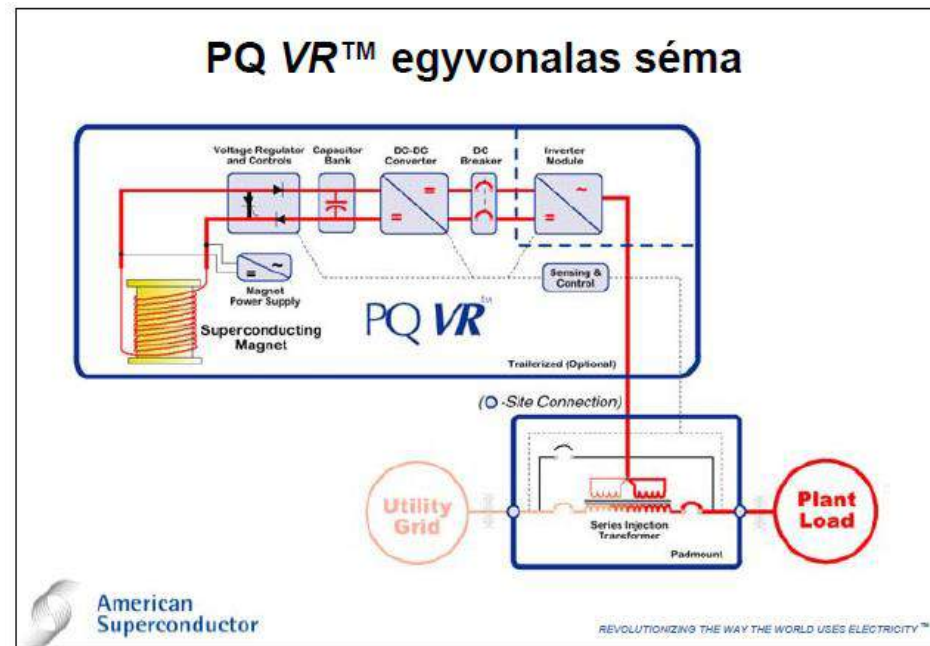
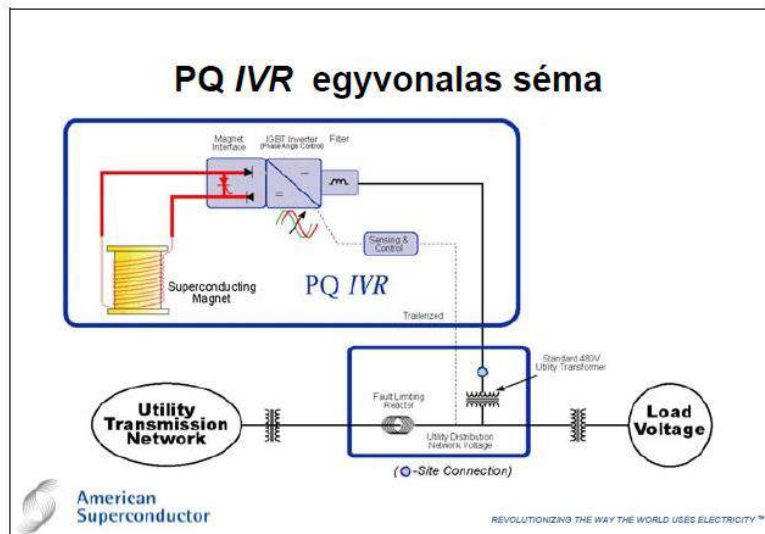


46 MW/15 perc kapacitás

CAES Development Company

SMET = SZUPRAVEZETŐS MÁGNESES ENERGIATÁROLÓ

Tervezett rendszer sémája



60...70 %-ig terjedő feszültség letörések elleni
kompenzáció, 10 MW tartomány

Schoettler, Papst, Vajda

LENDKEREKES ENERGIATÁROLÓ RENDSZEREK

Lendkerekes energiatároló

Pro (előnyök)

- Nagy teljesítmény sűrűség
- Hosszú élettartam
 - >150 000 ciklus, >20 év
- Nincs kapacitás csökkenés az élettartam során
- Az élettartama független a kisütések időtartamától
- A töltöttsége könnyen és pontosan megállapítható
- Időjárástól független, környezeti hatásokra érzéketlen
- Alacsony környezeti terhelés

Con (hátrányok)

- Jelentős önkisülés
- Rendszerszinten alacsony energiasűrűség
- Bonyolult
- Két szembeforgó, közös tengelyű lendkerék

Beacon Power lendkerekes rendszer

Beacon Smart 25 LKT :

- 25 kWh/100 kW
- 15 perces kisütési idő
- Élettartam >125 000 ciklus, 20 év
- 75-90 % energia-hatásfok
- 16 000/perc fordulatszám



Lendkerekes energiatároló rendszer

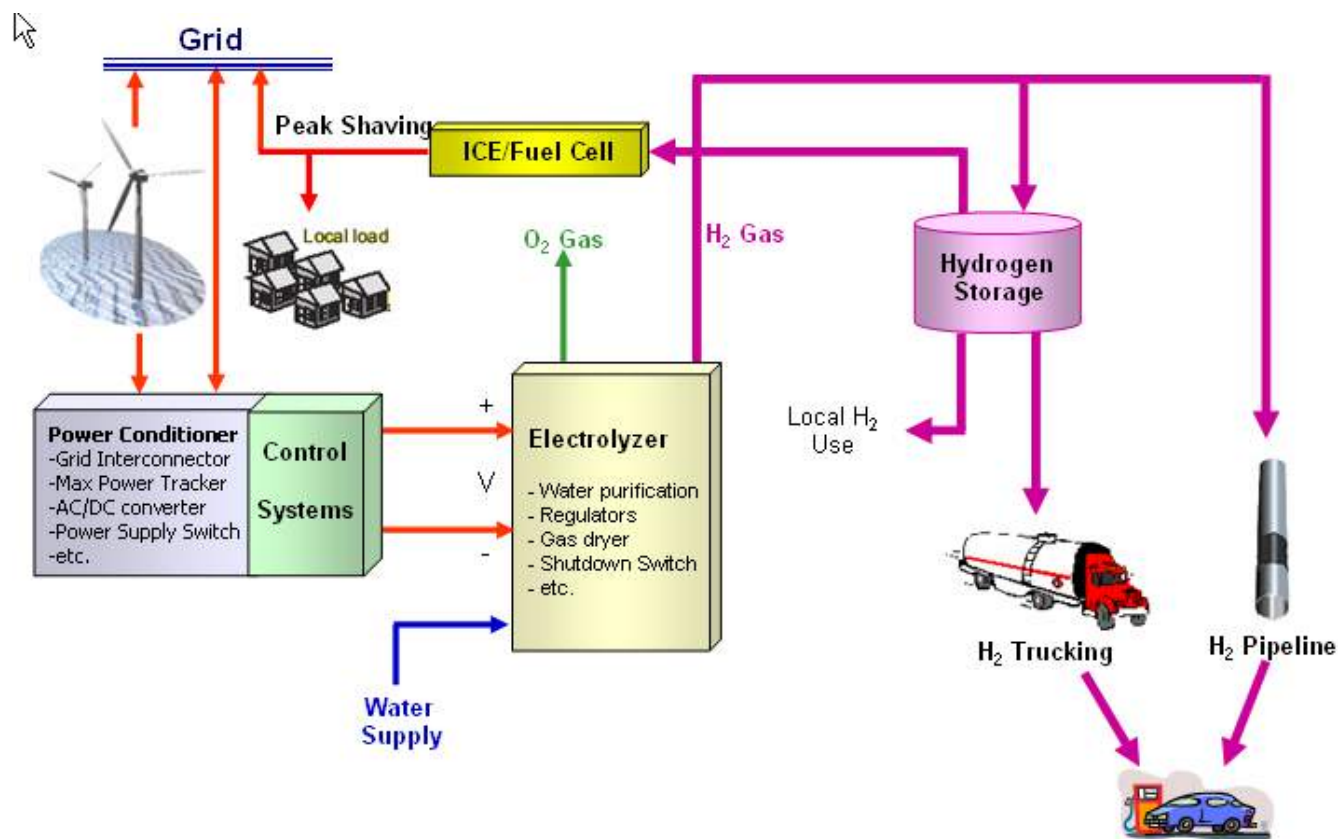


20 MW frekvencia szabályozó (Stephentown, NY, USA) 2011

Beacon Power Corporation

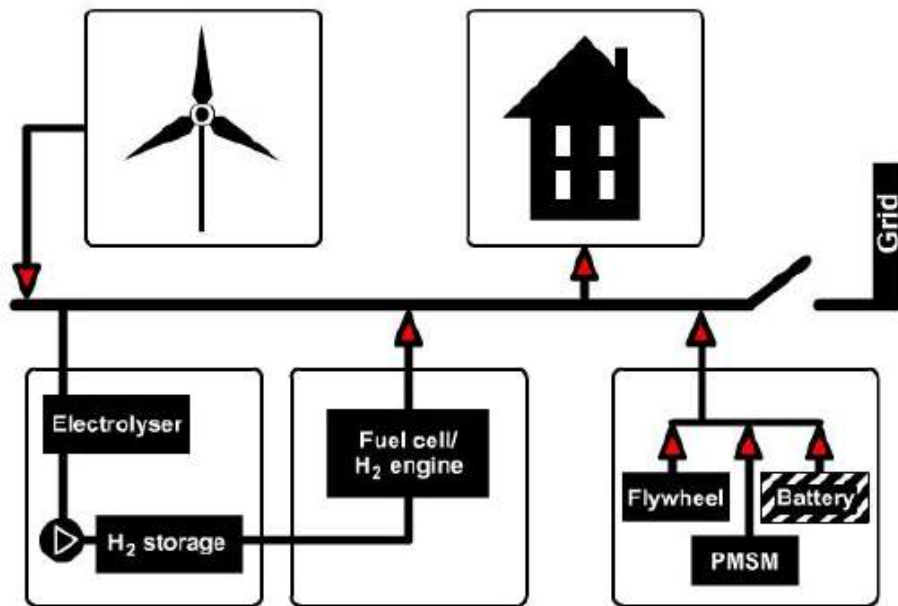
HIDROGÉN

Hidrogén és megújulók - koncepció



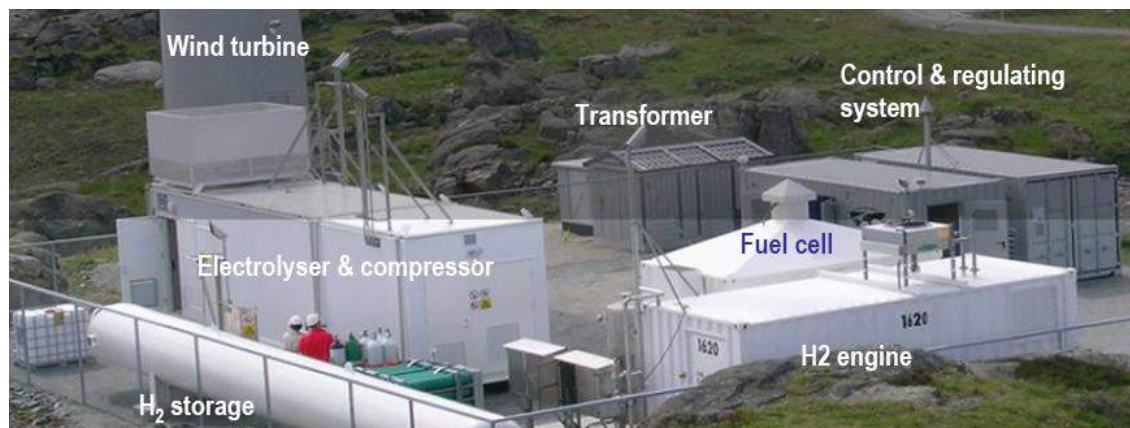
E. Liu: Large scale Hydrogen Wind Systems

Egy példa Norvégiából: Utsira projekt



Utsira = sziget Norvégiában

Biztos-ami-biztos: vízalatti
kábel-összeköttetést is
létesítettek



www.hfpeurope.org/uploads/699/808/UTSIRA

5 Villamos járművek kihívásai

Villamos hajtású gépjárművek fő típusai

EV = electric vehicle

■ Tisztán villamos

- ❑ Akkumulátoros: BEV = Battery EV
- ❑ Tüzelőanyag-cellás: FCEV = Fuel Cell EV
- ❑ Többszörös energiatárolóval rendelkező EV
 - Batt és SuperCap és Lendkerék és napelem kombináció

■ Belsőégésű és villamos

- ❑ Hibrid: HEV = Hybrid EV
 - Full, middle, mild: villamos teljesítmény/összteljesítmény
- ❑ Külső villamos hálózatról is tölthető hibrid: PHEV = Plug-in HEV

Energia-igény, „hüvelykujj-szabály”, személygépkocsira

- Össztömeg = 1200 kg
- Teljesítmény-igény (város) = 13 kW
(utazó sebesség esetén)
- Energiaigény, kWh/100 km
 - Városban = 10
 - Távolsági
 - $v = 50$ km/h esetén 6 kWh/100 km
 - $v = 100$ km/h esetén 13 kWh/100 km

Energia fogyasztás

- Villamos hajtás a meghatározó
- Segédüzem is jelentős lehet
 - Járműgenerátor nincs
 - Segédüzemre kisfeszültségű segédüzemi akkumulátor

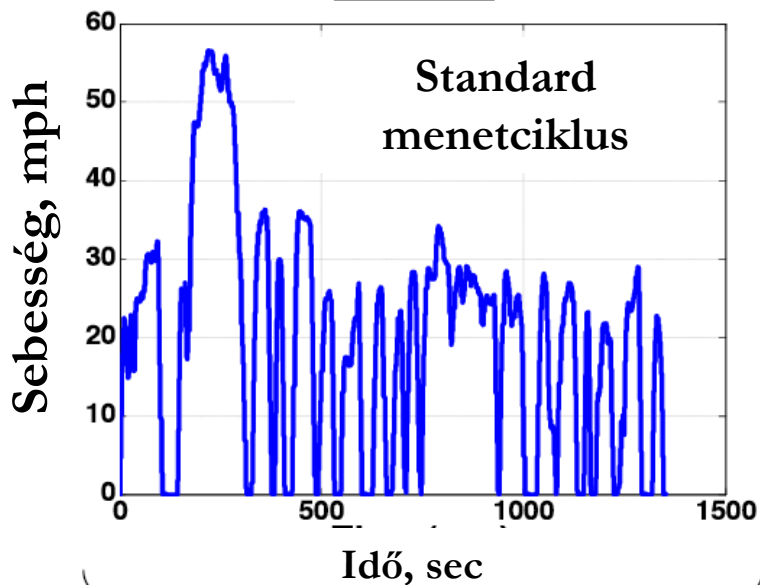
Energia-tárolás villamos járművekben:

Technikai Kihívások

- Kis fajlagos energia: az akkumulátorok nehezek
- Ciklus-szám (élettartam)
 - A legtöbb akkumulátor kapacitása csökken a töltési/kisütési ciklusok számának növekedésével.
 - Javul, ha nem végzünk állandóan töltési/kisütési ciklusokat
- Teljesítmény-sűrűség
 - A létező akkumulátoroknak korlátozott az energia-felvételi képességük, (visszatápláló fékezés)
 - Alternatíva a szuperkapacitások és a lendkerekes tárolók
- Gyorstöltés, villámtöltés

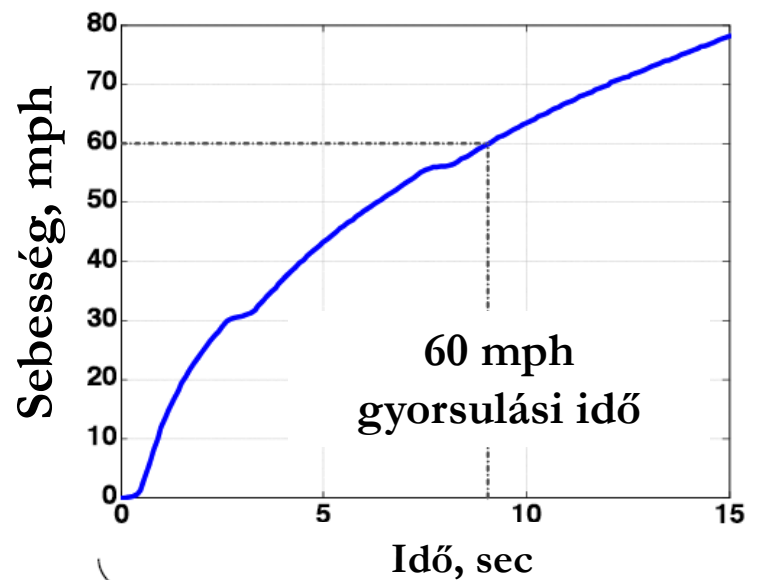
Energia vs Teljesítmény

Hatótávolság



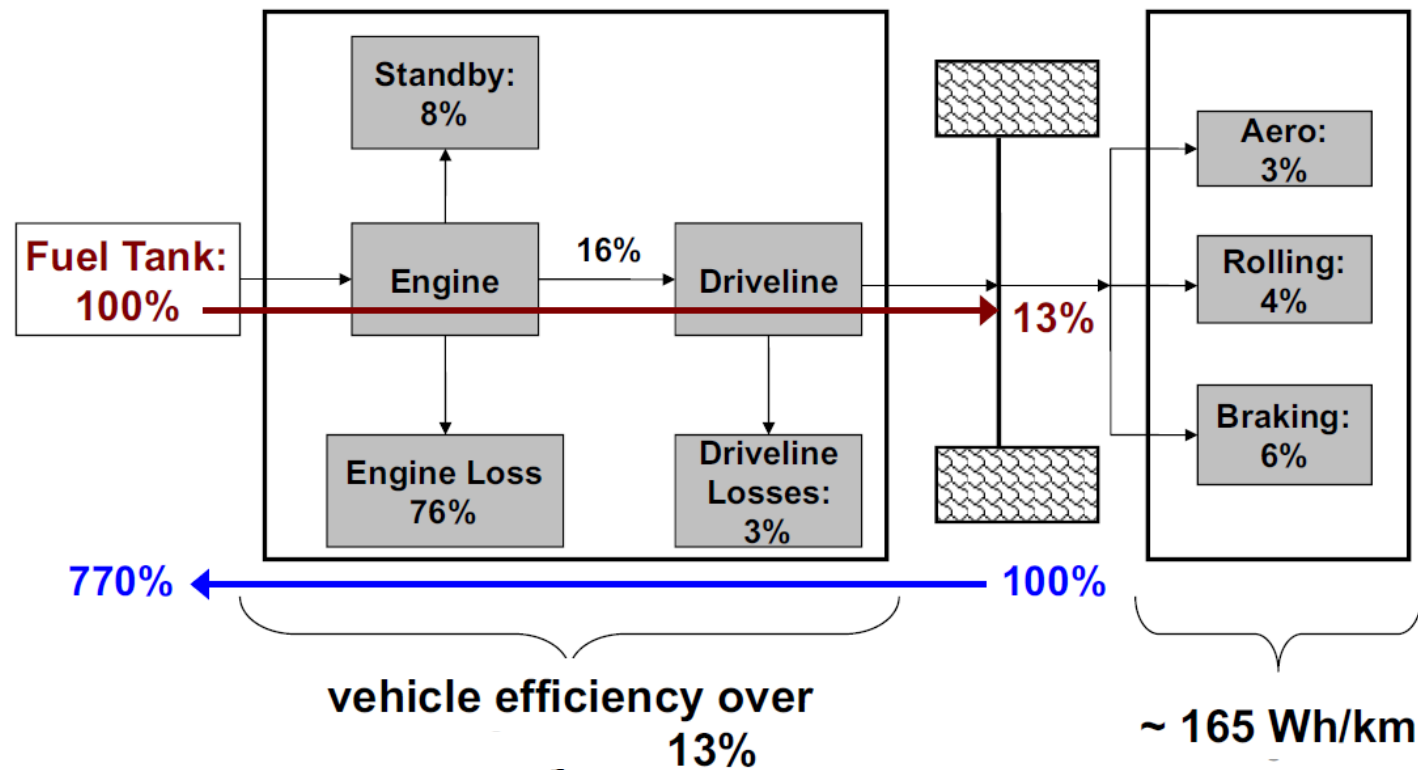
Energia specifikáció

Teljesítmény



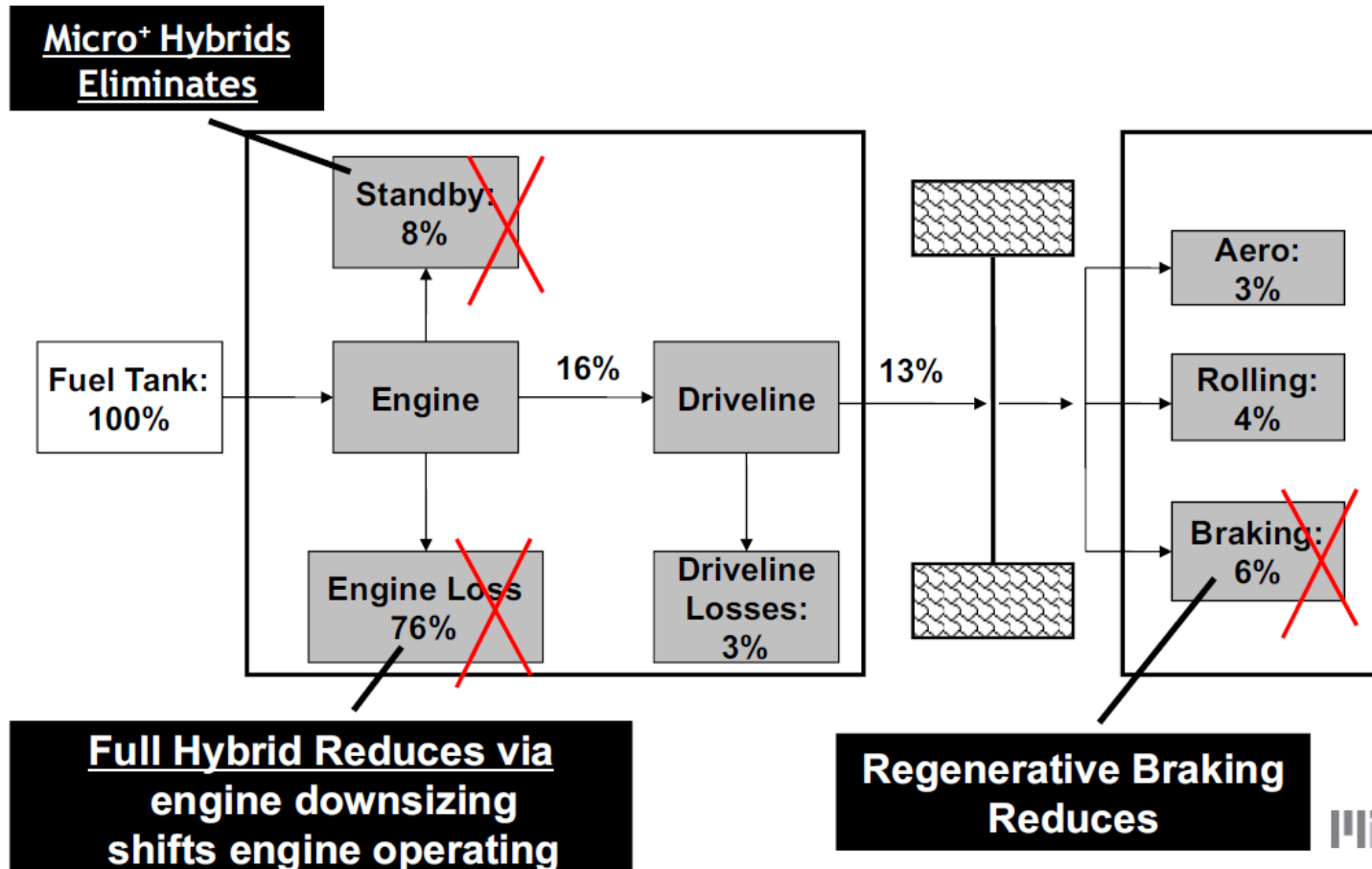
Teljesítmény specifikáció

Energia-mérleg, 2005 3.0-L Toyota CAMRY



Forrás:
Don MacKenzie,
Automotive Technologies and Fuel Economy Policy,
MIT OpenCourseWare

Energia-mérleg javítása hibridizációval



Forrás:
Don MacKenzie,
Automotive Technologies and Fuel Economy Policy,
MIT OpenCourseWare

Tisztán villamos pro és con

Pros (előnyök)

- Villamos energia
 - ❑ Sokféle energia-forrás
 - ❑ Potenciálisan kisebb kibocsátás
- Villamos hajtás
 - ❑ Jobb hatásfok
 - ❑ Nagyobb nyomaték kis fordulatszámon
 - ❑ Kisebb üzemeltetési költség
 - ❑ Csökkent karbantartás-igény

Cons (hátrányok)

- Akkumulátor
 - ❑ Hosszú töltési idő
 - ❑ Magasabb ár
 - ❑ Kisebb energia-tartalom
 - ❑ Korlátozott hatósugár
 - ❑ Bizonytalanság a ciklusszám tekintetében
- Villamos hajtás
 - ❑ Eltérő (szokatlan) üzemeltetési és vezetési élmény

AKKUMULÁTOROK

Akkumulátor típusok

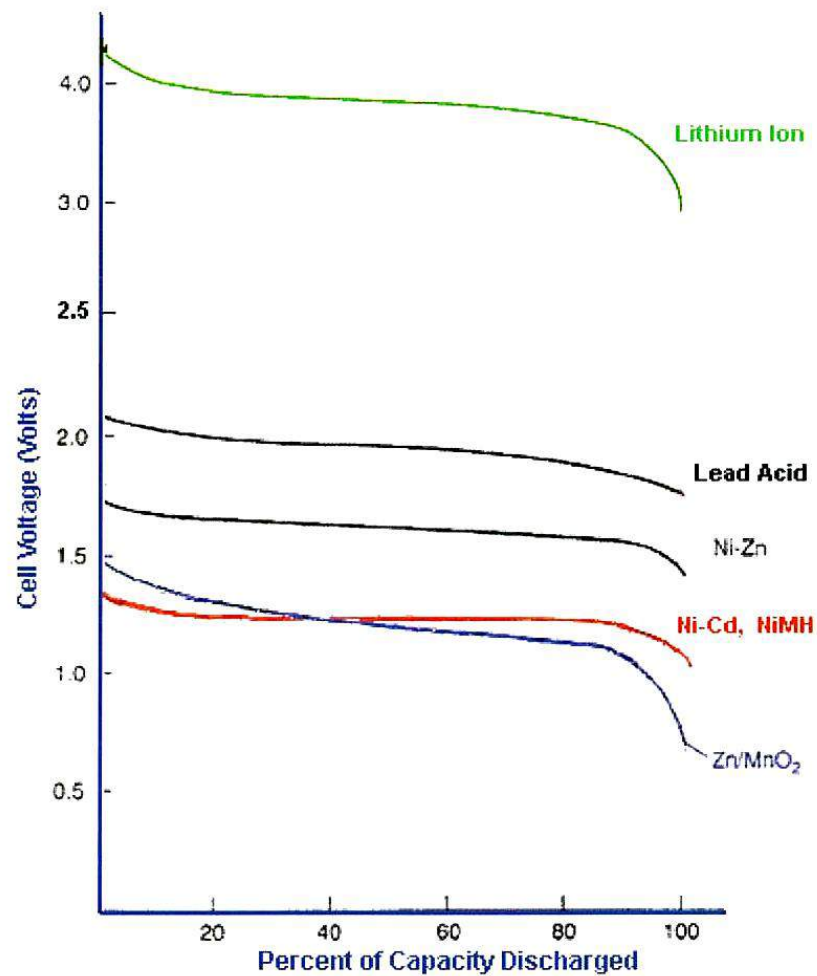
- **Savas:** (LA = Lead Acid)
 - Legfeljebb segédüzemre
 - Zárt (zselés)
 - Szabályozott szelepes (VRLA = Valve regulated LA)
 - Pb veszélyes anyag
 - NiCd
 - Cd veszélyes hulladékHelyette a hasonló
 - NiMH
 - Li-ion és Li-polimer

Akkumulátor fő mutatók

Típus	Ólom	NiCd	NiMH	Li-ion vagy polimer
Üzemi hőmérséklet	-10...55 C	-40...50 C	-40...50 C	-45...85 C
Elektrolit	Kénsav vizes oldat	Lúg vizes oldat	Lúg vizes oldat	Szerves elektrolit vagy polimer
Nyugalmi feszültség	2,1 V	1,35 V	1,35 V	3,5 V
Fajlagos energia, Wh/kg	30...45	40...55	50...80	100...250
Fajlagos teljesítmény, W/kg	100...200	180...260	180...250	300...800!!!

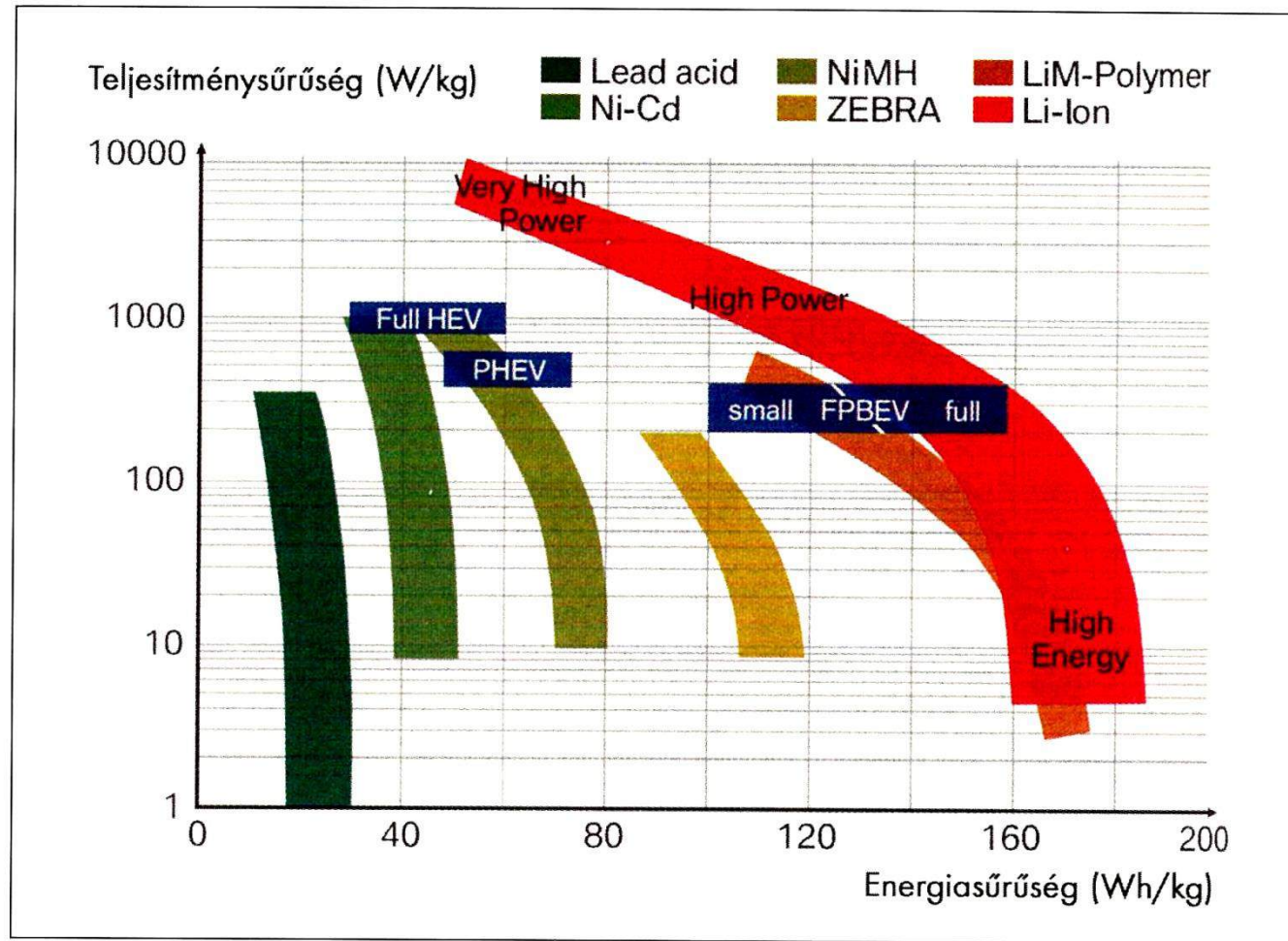
Forrás:
Dr. Vincze Gy-né, Balázs G,
Villamos járművek, BME VET

Jellemző kisütési görbék



Forrás:
Rédey László
Személyes közlés

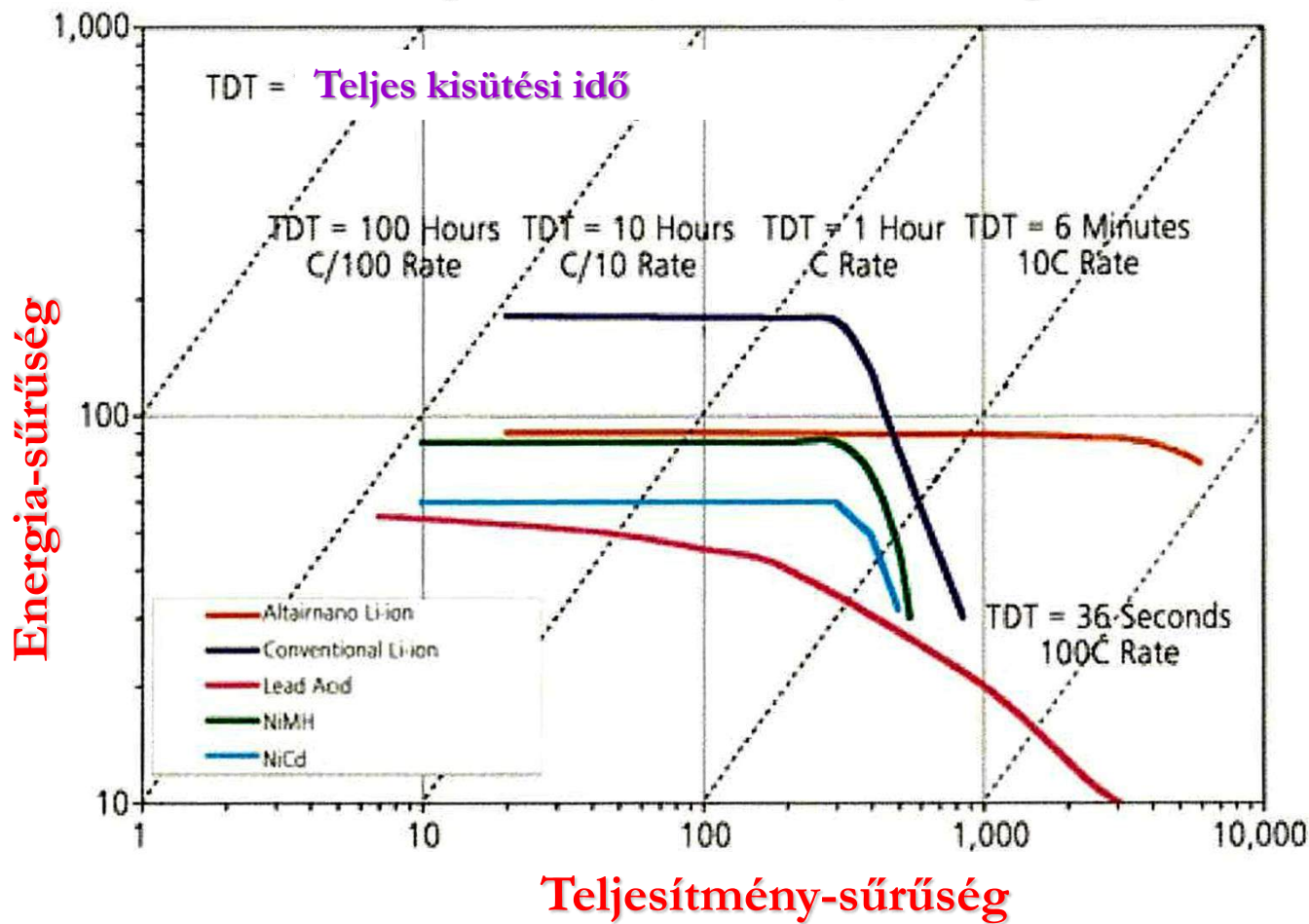
Ragone diagram #1 villamos autókhoz



Forrás:
Rédey László
Személyes közlés

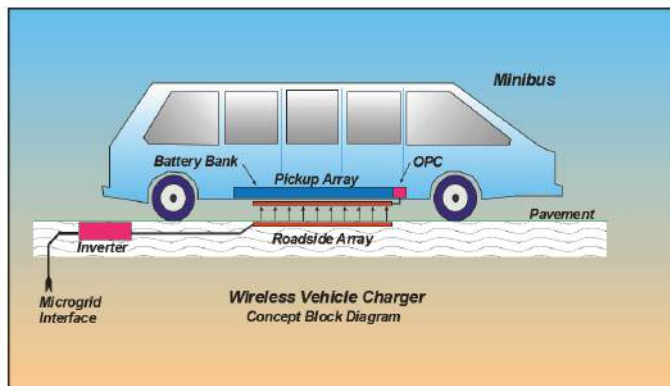
Ragone diagram #2

Energia- és teljesítmény-sűrűség



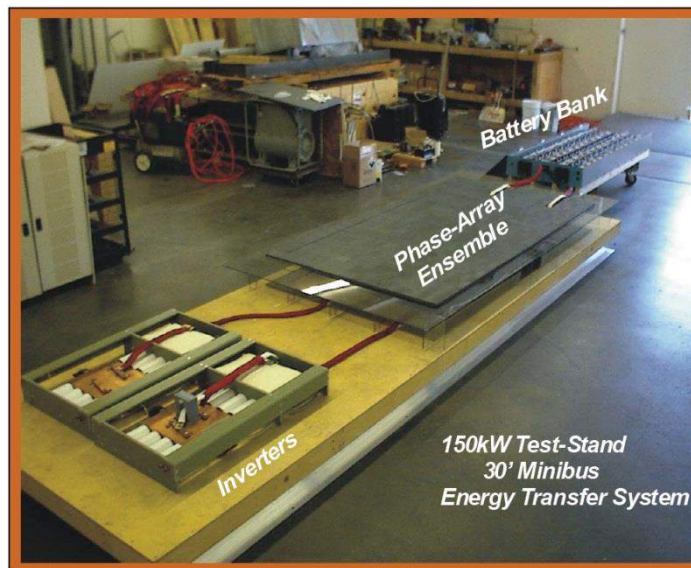
Forrás:
Rédey László
Személyes közlés

Induktív töltés



Recharge Power Rating:	
Peak Power	150kW
Long Term Power	100kW
Reverse Power Transfer	50kW
Battery Bank Voltage	
Nominal	600 VDC
Charging	710 VDC
Minimum (5% SOC)	525 VDC
Battery Bank Energy	15 kWh (100% SOC)
Battery Type	Hawker 26Ahr LA (48)
Input Voltage	280-360VDC
Input Current	500 ADC nom.
Inverter Performance	
Operating Frequency	17-20kHz
Input Voltage	250-400VDC
Input Current	200-300ADC (2 units)
Control	DSP Computer
Phase-Array Magnetic Ensemble	
Size (each assembly)	54"W x 98"L x 0.75"H
Weight (each assembly)	450lb
Airgap (road to pickup)	5" to 9"; 7" nom.
T ECH	
ET	
Energy Transport Technologies	
Page 10	
Misalignment limits	
Horizontal	±5"
Longitudinal	±5"
Pitch	±1.5"
Yaw	±1"
Energy Transfer Efficiency	81%
Recharge from 10% SOC to 80% SOC	< 5 minutes

150kW 30' Minibus Energy Transfer System (ETT in Ojai, California)



Hazai előzmény: VKI

Forrás:
†Farkas László
Személyes közlés, www.ettek.com

SZUPERKAPACITÁSOK

Szuperkapacitás

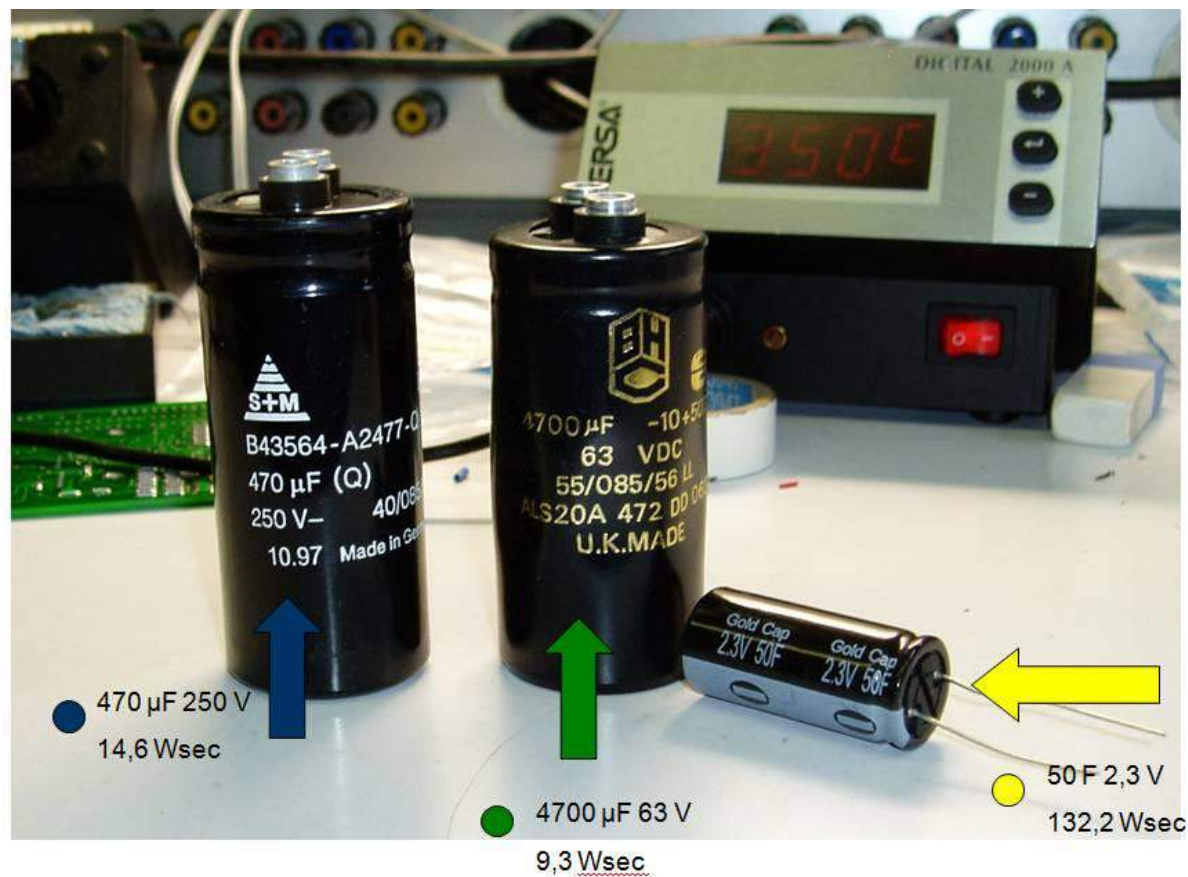
■ Tulajdonságok

- ❑ Elektrokémiai technológia
- ❑ Kettősréteg kondenzátor
- ❑ $C = 500 \dots 5600 \text{ F}$
- ❑ $U = 3 \dots 5 \text{ V} \Rightarrow$ nagyszámú soros
- ❑ Fajlagos energia $\approx 5 \text{ Wh/kg}$
- ❑ Fajlagos teljesítmény $\rightarrow 2,5 \text{ kW/kg}$

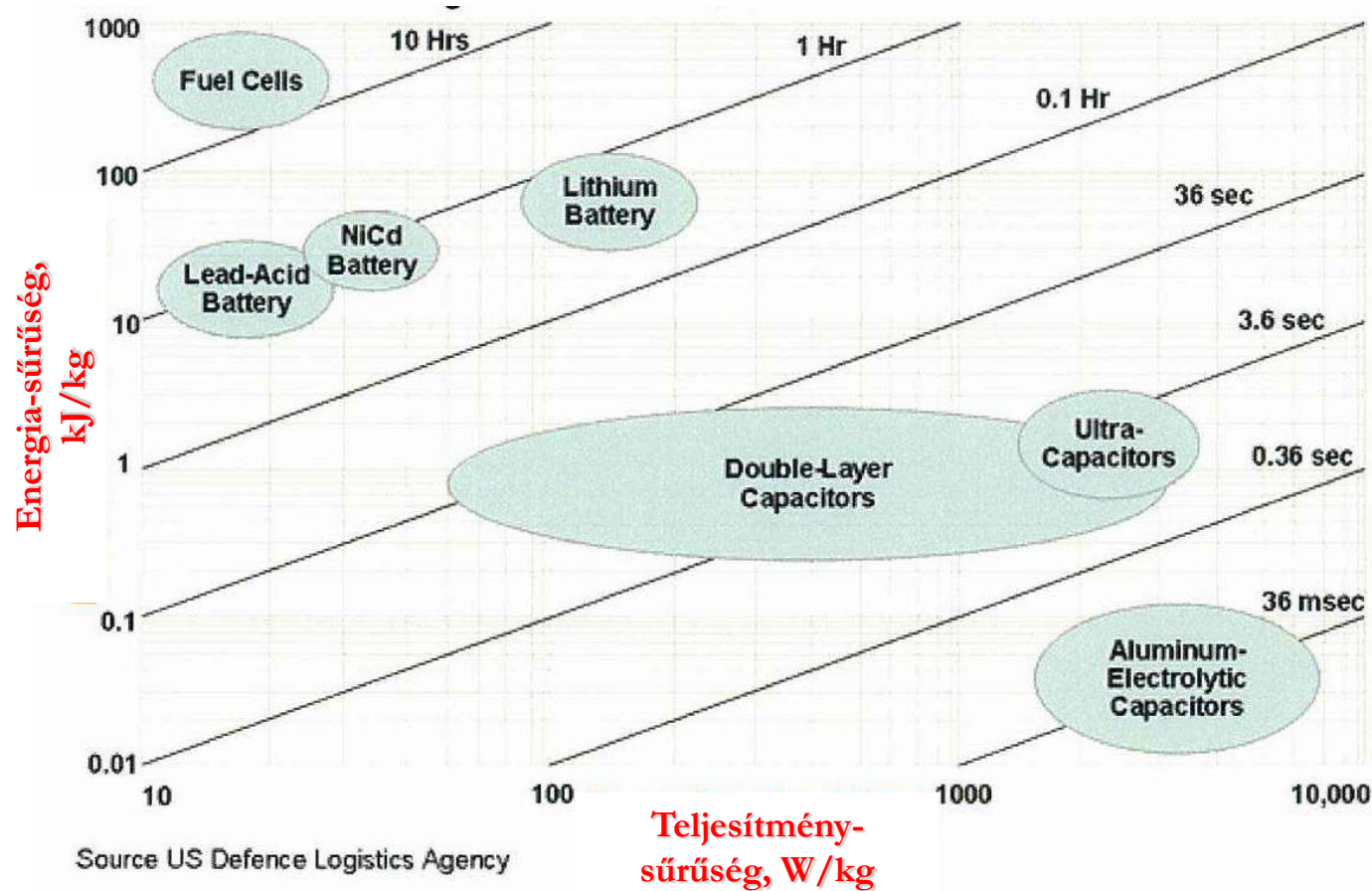
■ Felhasználás

- ❑ Extra nagy csúcsteljesítmény leadás és felvétel
- ❑ Lökésszerű igénybevételek felvétele

Néhány példa



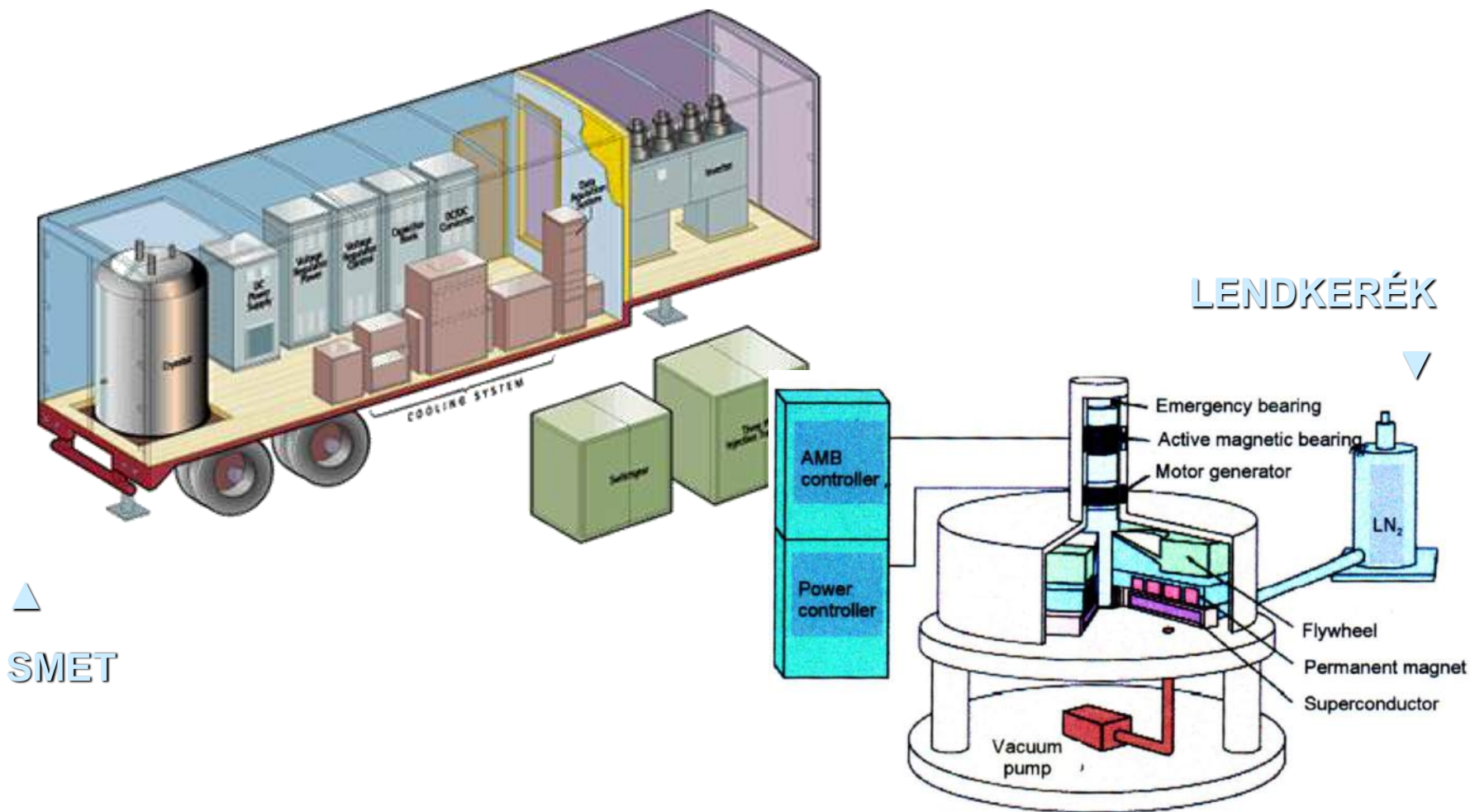
Ragone diagram #3, Akkumulátorok és Szuperkapacitások



Forrás:
Rédey László
Személyes közlés

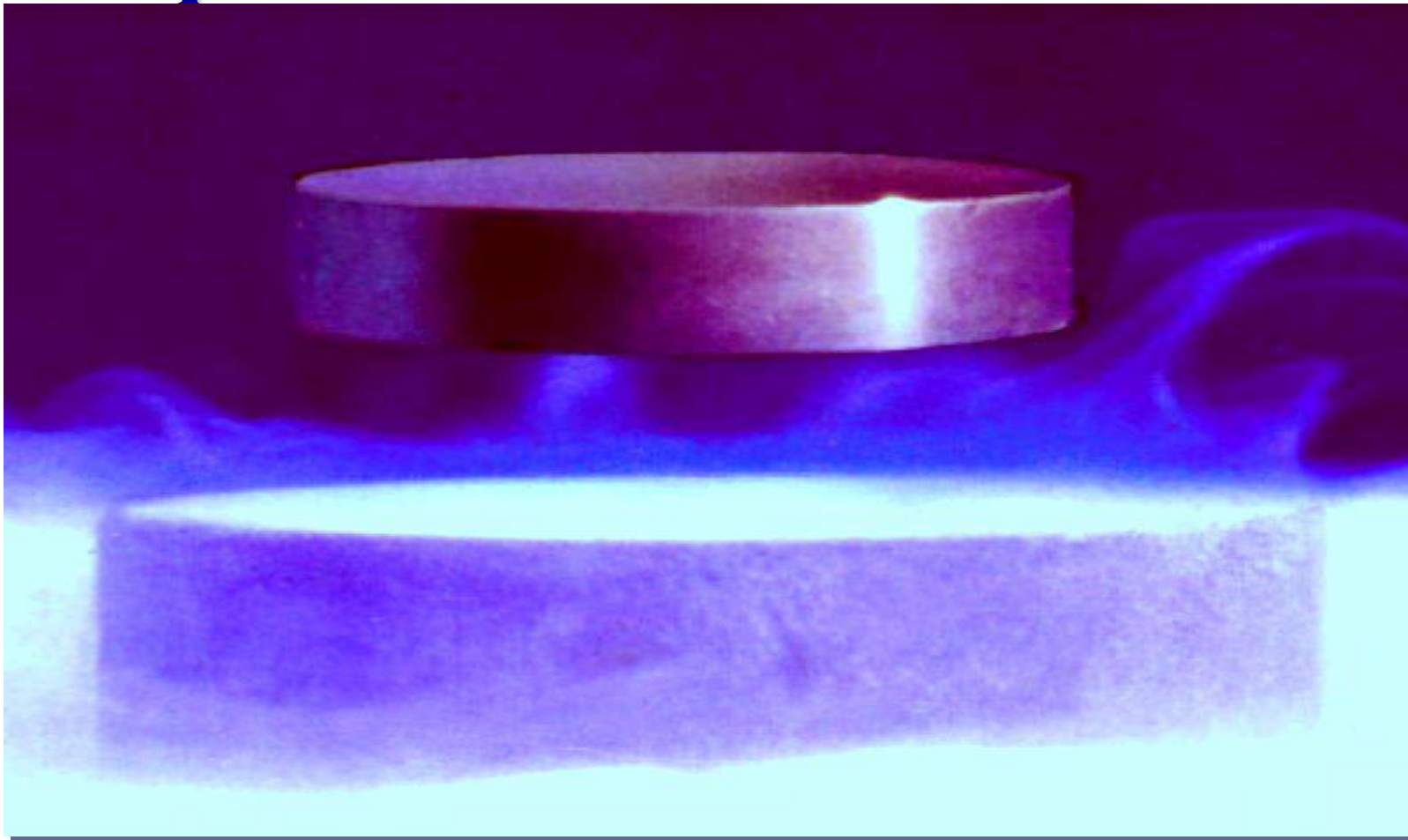
6 Szupravezetős Energiatárolók

SzV Mágneses és kinetikus tároló



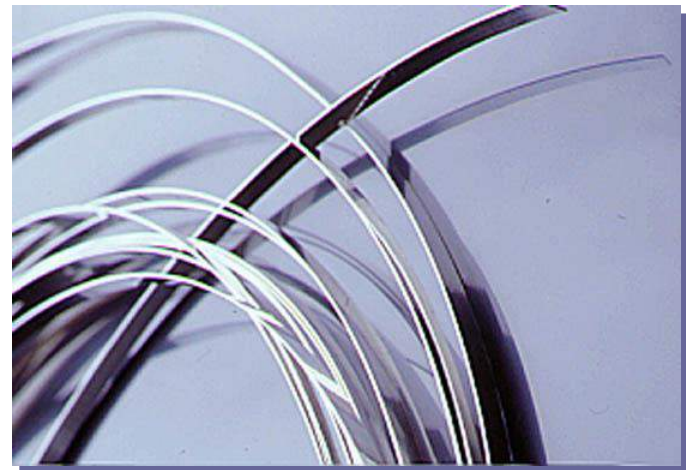
MIT TUD A SZUPRAVEZETŐ?

Szupravezetés



Mire jó a szupravezető?

Különleges vezető

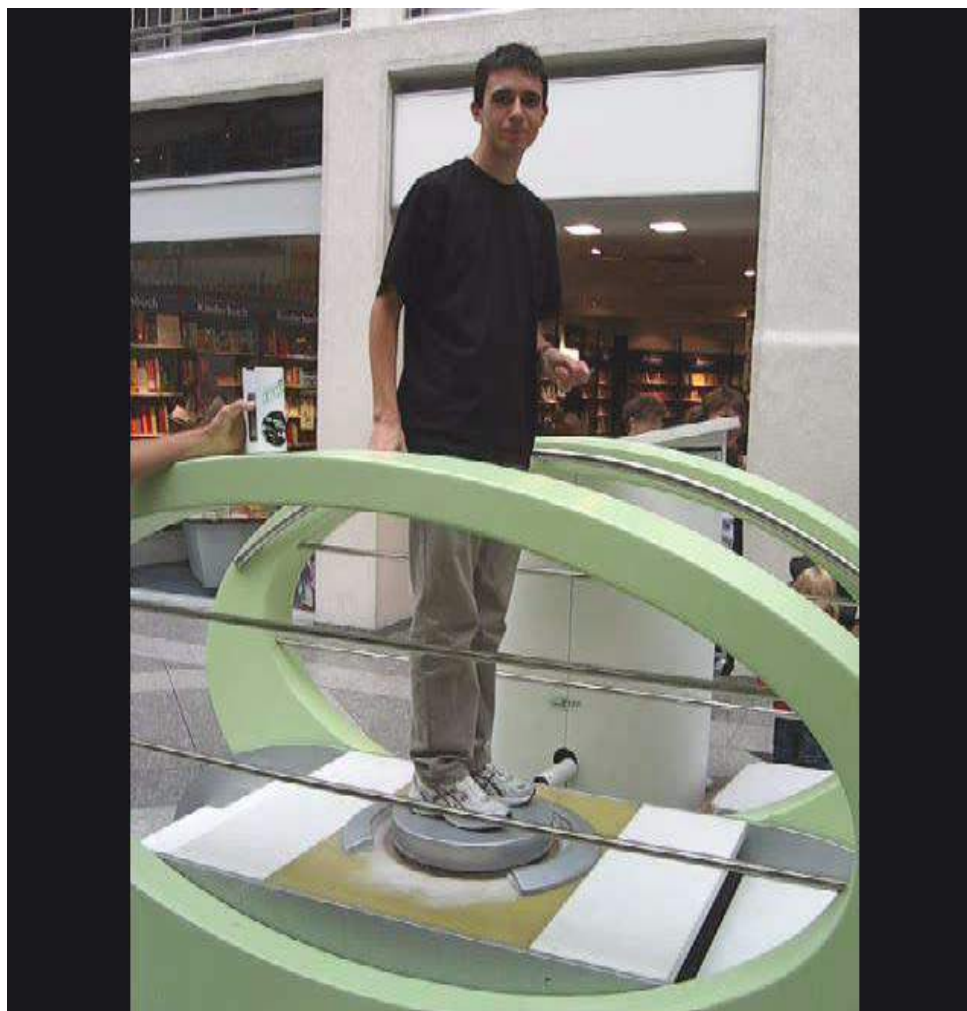


Mire jó a szupravezető?

Különleges mágnes



SuperTech Ember lebegtető



Szupravezetés

Ma hozzuk létre a holnapot!

Superconductivity

CREATING THE FUTURE

TODAY

High Temperature Superconducting Underground Power Transmission Cables

High Temperature Superconducting Underground Power Transmission Cables will carry electricity from the utility station to transformer substations. Since the cables are composed of superconducting wire there is no resistance and very little loss of electricity. This transmission cable can carry 10 times the amount of conventional power cables. This capacity will be of great value in places where new right-of-way are restricted.




High Temperature Superconductors

HTS are perfect carriers of electricity. When strung together, these cables of multi filamentary wires are strong, flexible, durable and capable of carrying 10 times as much electrical current than when made of copper.



Superconducting Magnetic Levitating Train

(MAGLEV) can reach speeds of over 300 mph. This method of transportation could be used to connect cities which are from 200 to 500 miles apart, relieving congested highways and airports. The superconducting magnetic coils on-board the train and on the sides of the guideway provide levitation, keep the train in the center of the guideway and propel the MAGLEV along the track.




The 200 Horsepower Motor

new high temperature superconducting motor coils. The high temperature superconducting motor is much smaller, lighter and more efficient when compared to a conventional motor. Utilities and industry will be able to lower their electricity costs by using these motors.



High Temperature Superconducting Transformers

for utilities and industry, a highly efficient, light-weight, compact and environmentally friendly alternative to today's oil-filled transformers.



A Fault Current Limiter

(FCL) can protect power transmission cable and operating equipment from surges of excess electricity caused by lightning strikes, short circuits and power fluctuations. The high temperature superconducting coils in the fault current limiter control the high current before it can long enough for the circuit breaker to open.



Magnetic Resonance Imaging

(MRI) is used in many hospitals to obtain pictures of human soft tissue and organs. The patient lies on a bed that slides into the MRI. The superconductive magnetic coils are an important portion of this whole-body scanner. Since these coils are capable of producing very stable, large magnetic field strengths, they generate high-quality images.




Generator Racetrack Coils

are made from the high temperature superconductor Bismuth-strontium-calcium-copper oxide (BSCCO). The coils will be used in high efficiency, low cost generators for electric utilities.




Sponsored by
The U.S. Department of Energy
Office of Energy Efficiency and Renewable Energy

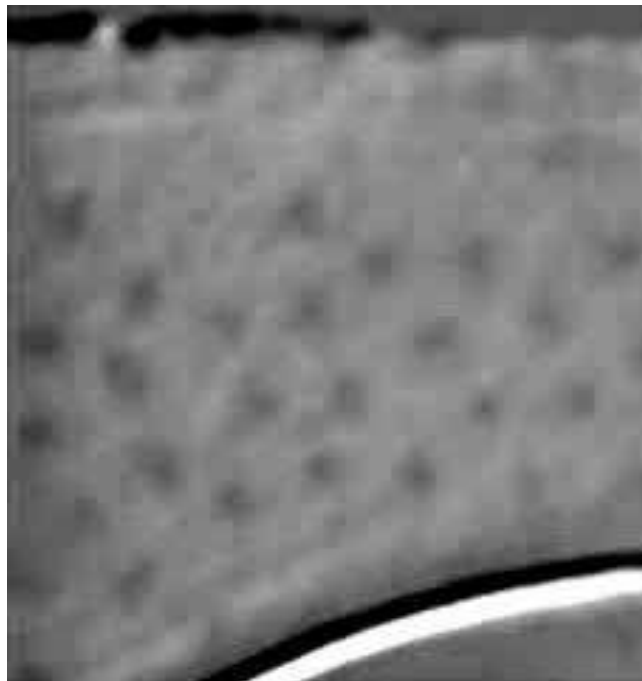


II. TÍPUSÚ SZUPRAVEZETŐK

Örvényszerkezet

Dr Mészáros Sándor
Dr Vad Kálmán
ATOMKI

A mágneses tér behatolása a szupravezetőbe: átmágnesezés (video felvétel)



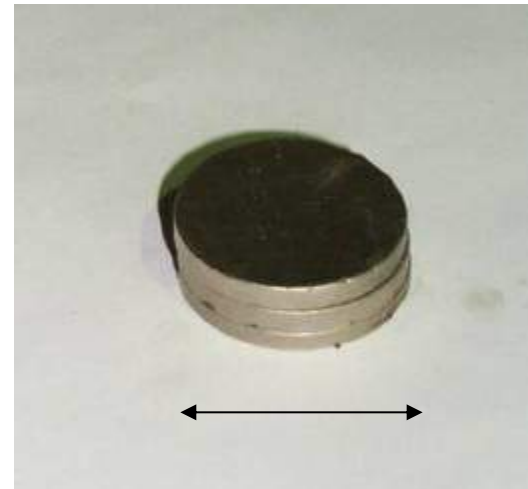
LEBEGTETÉSI KÍSÉRLETEK

Az alkalmazott szupravezetők és állandó mágnesek



25,4 mm

YBCO lebegtető



36 mm

NdFeB állandó mágnes

Lebegtetési kísérlet #1

- **ZFC = Zero Field Cooled** (mágneses tér mentes hűtés)
- **ZFC $\Rightarrow$ lebegtetés**



Lebegtetési kísérlet #2

■ Stabil pozíció keresése



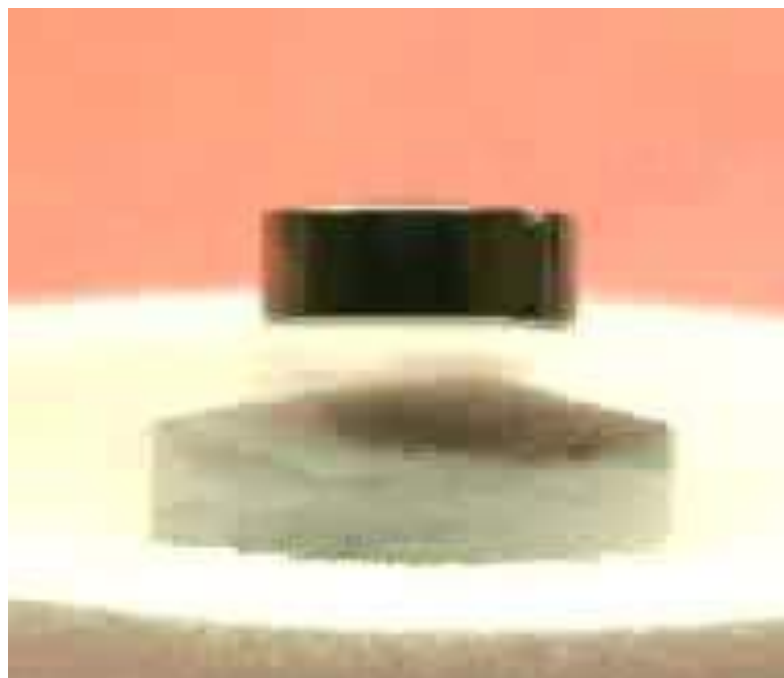
Lebegtetési kísérlet #3

- **FC = Field Cooled** (hűtés mágneses térben)
- **FC $\Rightarrow$ felfüggesztés, a fluxus befagyasztása**



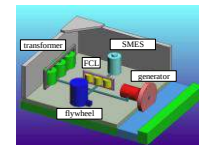
Lebegtetési kísérlet #4

■ Felmelegedés (S→N átmenet folyamata)



SMET = SZUPRAVEZETŐS MÁGNESES ENERGIATÁROLÓ

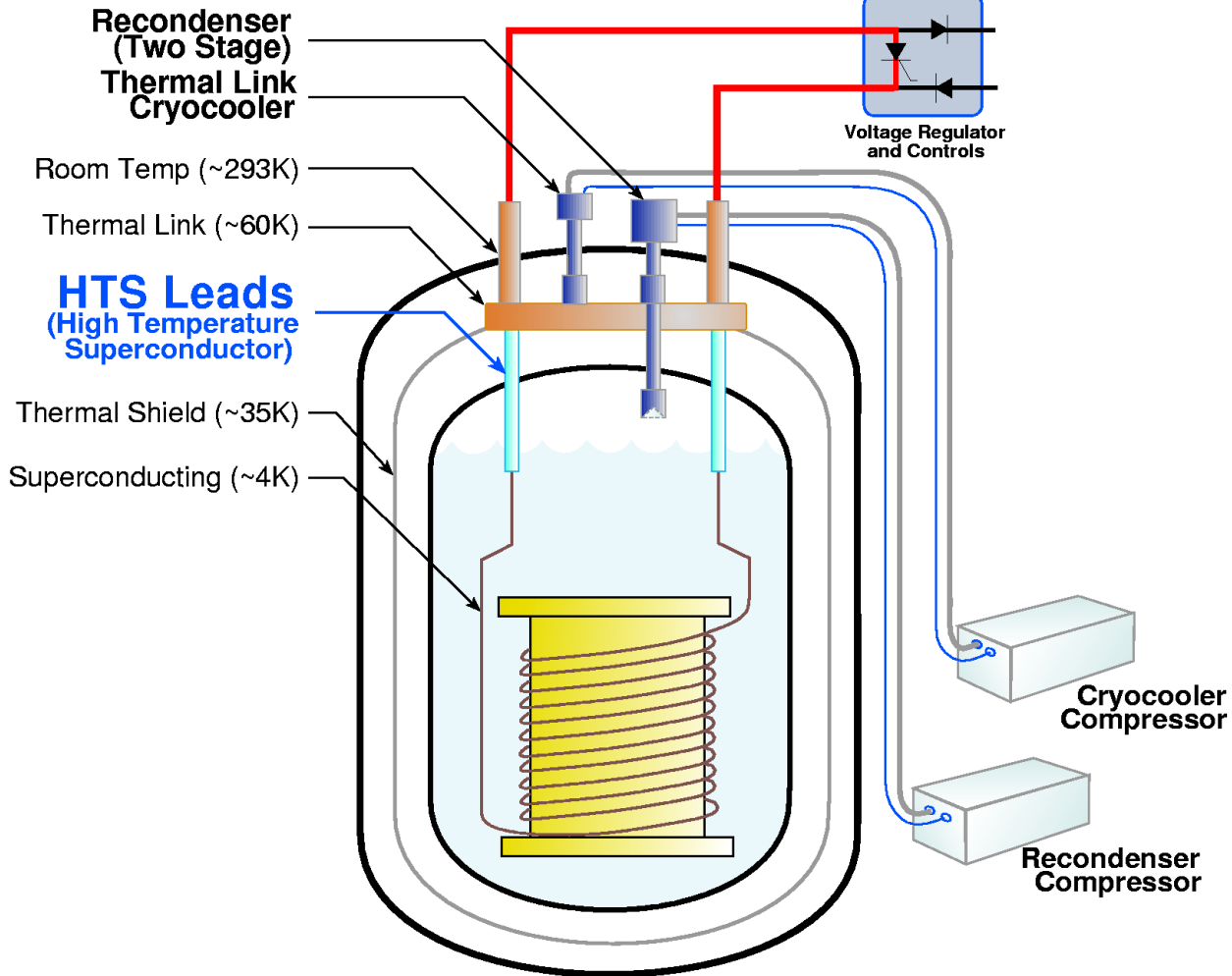
Státusz: A&MHS mágneses energiatároló



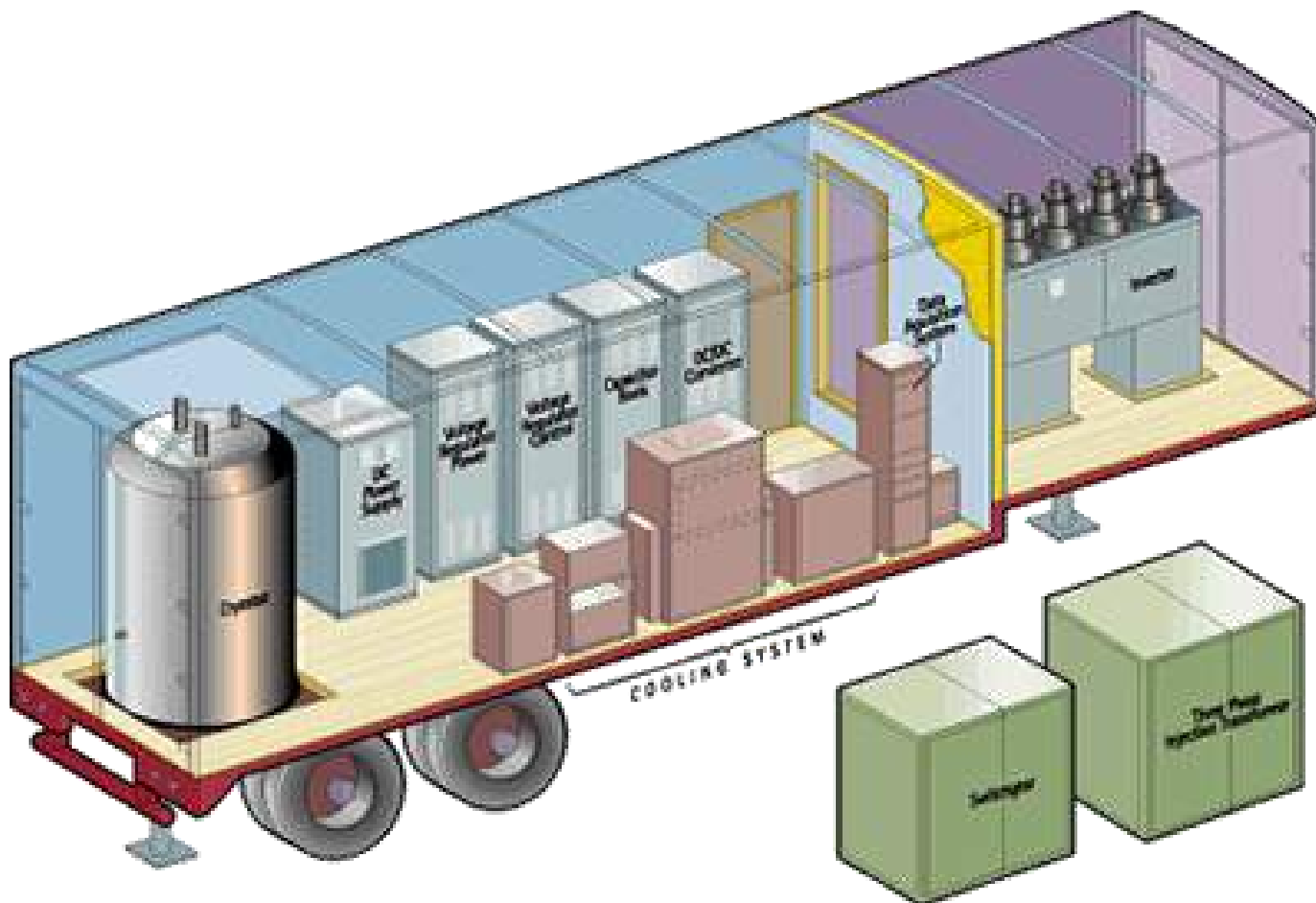
Vezető társaság	Ország	Év	Adatok	Szupravezető	Alkalmazás
FZ Karlsruhe	Németország	1997	320 kVA	NbTi	ingadozás ellensúlyozás
AMSC	USA		2 MW, 2,6 MJ	NbTi	hálózat stabilizálás
F Z Karlsruhe	Németország	2004	25 MW, 237 kJ	NbTi	áram modulátor
Chubu	Japán	2004	1 MVA, 1 MJ	Bi 2212	feszültség minőség
Chubu	Japán	2005	10 MVA, 21 MJ	NbTi	feszültség minőség
KERI	Korea	2005	750 kVA, 3 MJ	NbTi	hálózat minőség
Chubu	Japán	2007	1 MVA, 19 MJ	NbTi	terhelés ellensúlyozás
CAS	Kína	2007	0,5 MVA, 1 MJ	Bi 2223	-
CNRS	Franciaország	2008	800 kJ	Bi 2212	katonai alkalmazás
KERI	Korea	2009	1 MJ	Bi 2223	-
Chubu	Japán	2012	2 MJ (20K)	YBCO	hálózat stabilizálás

2011: „commercial”-igényű japán telepítés

AMSC SMET – A rendszer sémája



AMSC SMET – kereskedelmi termék



AMSC SMET – kereskedelmi termék



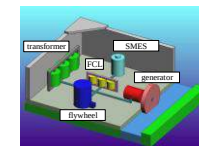
Gleisdorf, Austria



SZUPRAVEZETŐ LENDKEREKES ENERGIATÁROLÓ RENDSZEREK

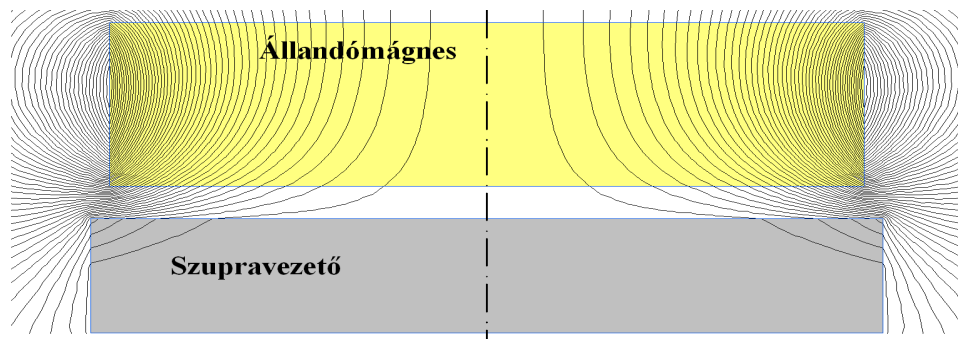
Státusz: MHS lendkeres energiatároló rendszerek

Gyártók	Ország/Év	Tárolt energia	Fordulatszám
Argonne National Laboratory és Boeing	USA/2001	2,25 kWh	10,000 fpp
Argonne National Laboratory és Boeing	USA/2005	5 kWh	22,500 fpp
Chubu Electric Power és Mitsubishi Heavy Industry	Japán/1998	1,4 kWh	20,000 fpp
Chubu Electric Power és Mitsubishi Heavy Industry	Japán/2001	25 kWh	
New Energy Development Organization	Japán/1999	0,5 kWh	30,000 fpp
New Energy Development Organization	Japán/2006	5 kWh/10 kW	11,250 fpp
ATZ (Aldewitz Technologiezentrum), Magnet Motor és Eon	Európa/2007	5 kWh/250 kW	
DynaStore, RWE, Braunschweigi egyetem, Solvay, Nexans, IPHT Jena, ZFW Göttingen, RWE Piller és EUPEC	Európa/2007	10 kWh	10,000 fpp



MHS mágneses csapágy

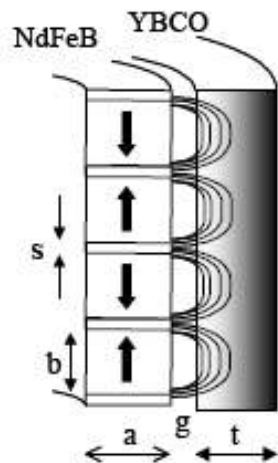
Axiális fluxus:



Forrás:
Dr Kohári Z, PhD disszertáció, BME VET

MHS mágneses csapág

Radiális fluxus:



**MHS rézbe ágyazva =
sztátor**



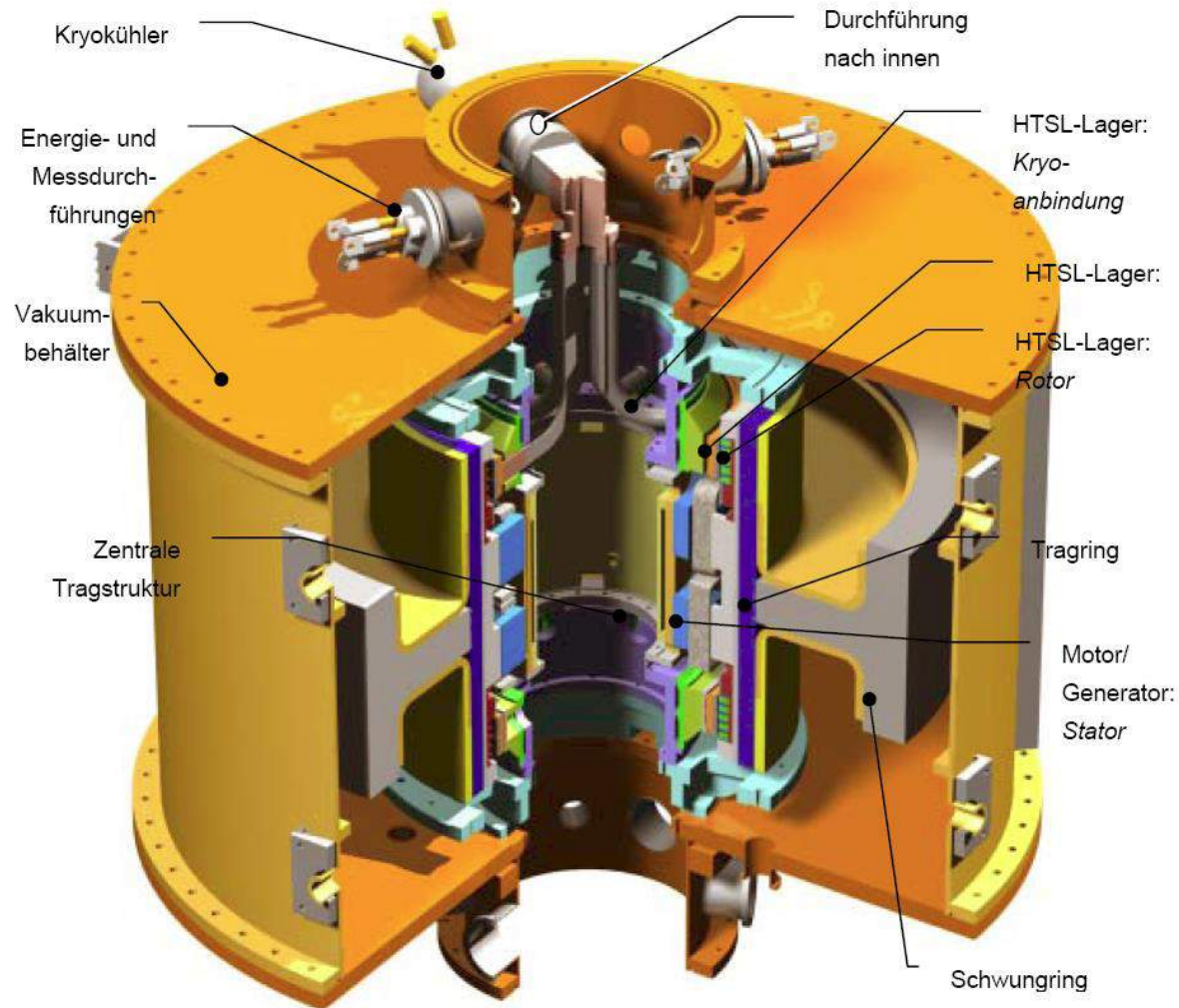
**Kontrapolár ÁM gyűrűk
lágvas szendvicsben =
rotor**

Egy nevezetes példa #1

- Dynastore
 - 2 MW/10 kWh (18 s)
 - Reluktancia motor/generátor
 - 12 000/perc névleges fordulatszám
 - 554 kg rotor tömeg,
 - 1,28 m külső átmérő
 - 55-65 K üzemi hőmérséklet

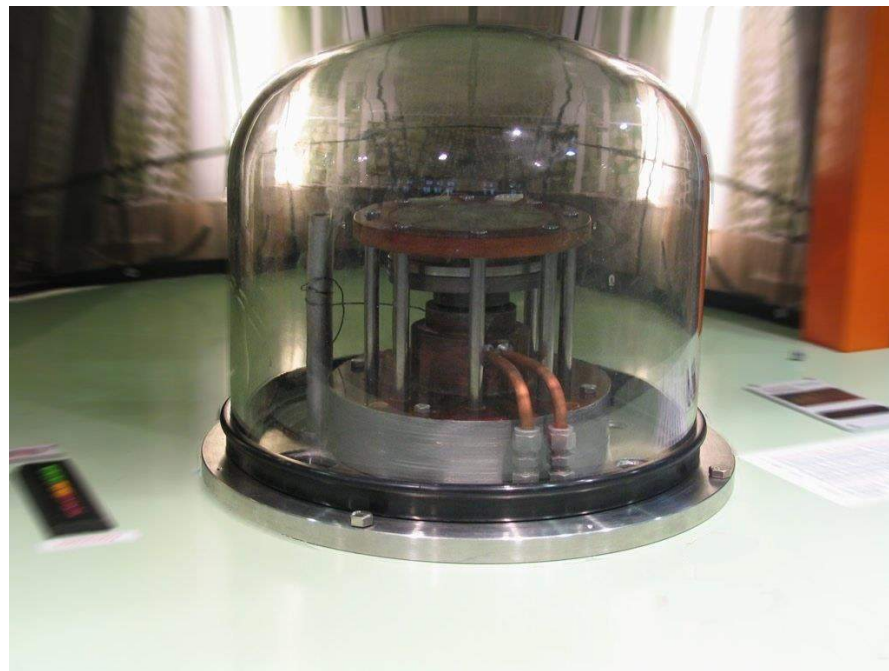
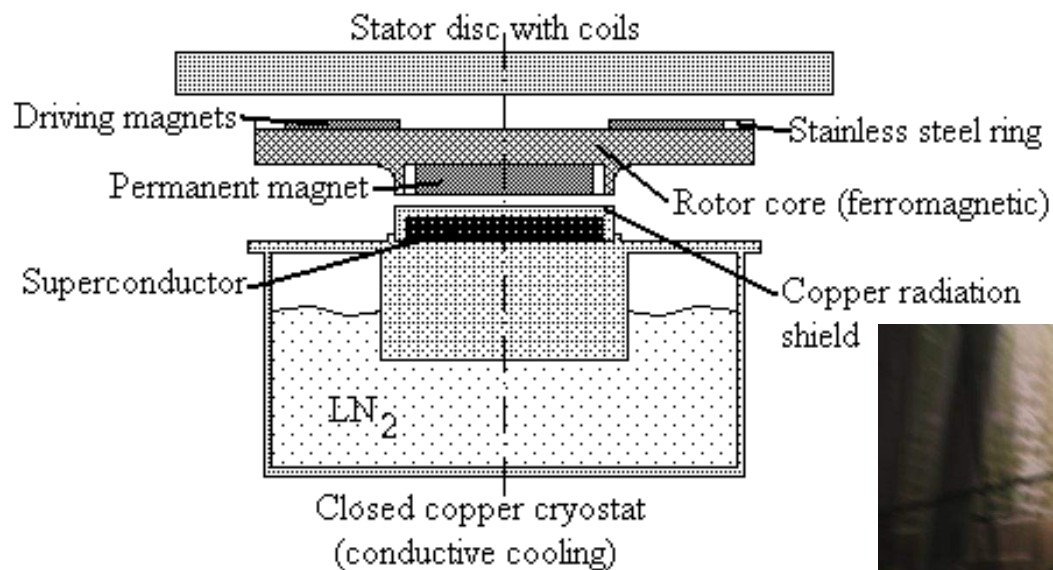
Egy nevezetes példa #2

Dynastore:

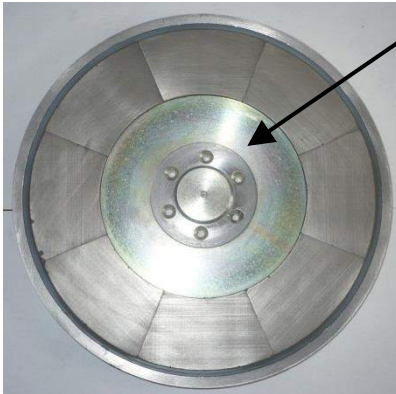
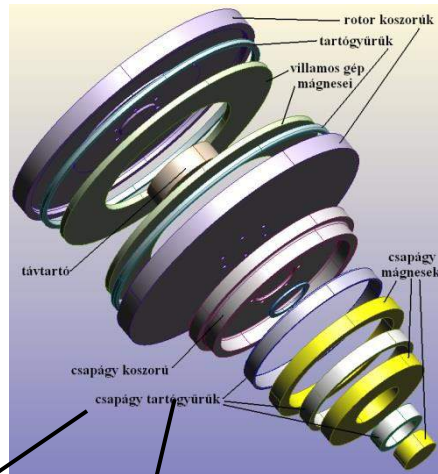
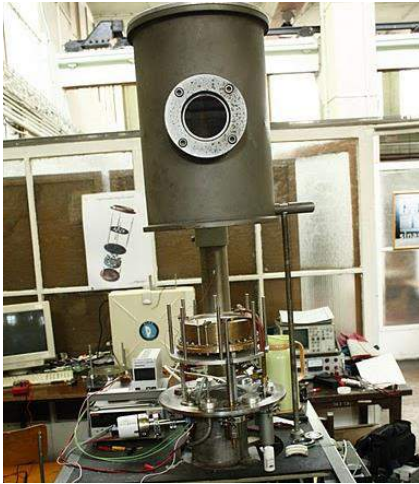


SAJÁT SZUPRAVEZETŐ LENDKEREKES ENERGIATÁROLÓNK

SuperTech kísérleti lendkerekes rendszer



SuperTech lendkerekes energiatároló



ATOMKI

Köszönöm a figyelmet!

