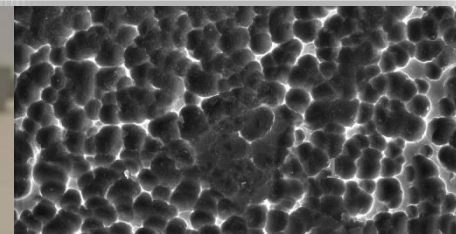
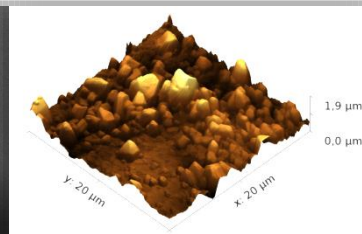
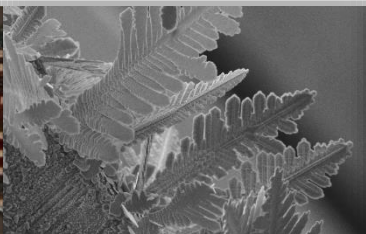
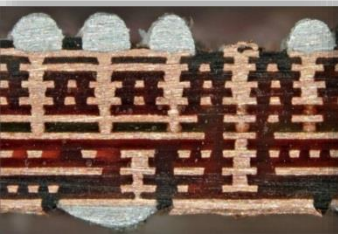




Vysokého učení technického v Brně
Fakulta elektrotechniky a
komunikačních technologií
Ústav elektrotechnologie

Akumulátory, technologie na ukládání elektrické energie

Tomáš Kazda





Obsah přednášky

Historie - přehled

Úvod do Li-ion

Aplikace

Bezpečnost

Recyklace

Další technologie



Historie baterií

1800 – Voltův článek (Alessandro Volta)

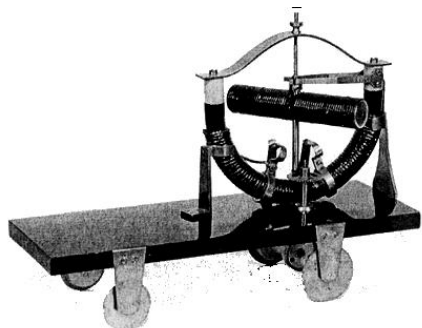
1859 – Olověný akumulátor (Gaston Planté)

1866 – Leclanchéova baterie (Georges Leclanché)

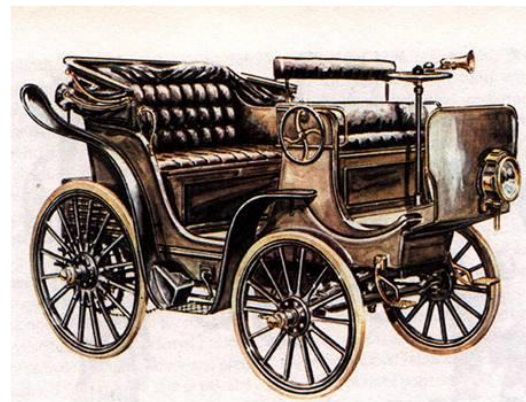
1899 – Ni-Cd akumulátor (Waldemar Jungner)

1967 – Ni-MH akumulátor

1980 – Lithno-iontový akumulátor (John B. Goodenough)



První koncept EV - Ányos
István Jedlík (1828)



První český elektromobil – Křižík (1895)



Počátky elektromobility



Obr.1: 1884 - Thomas Parker první elektrické vozidlo (Benz – Motorwagen 1886)



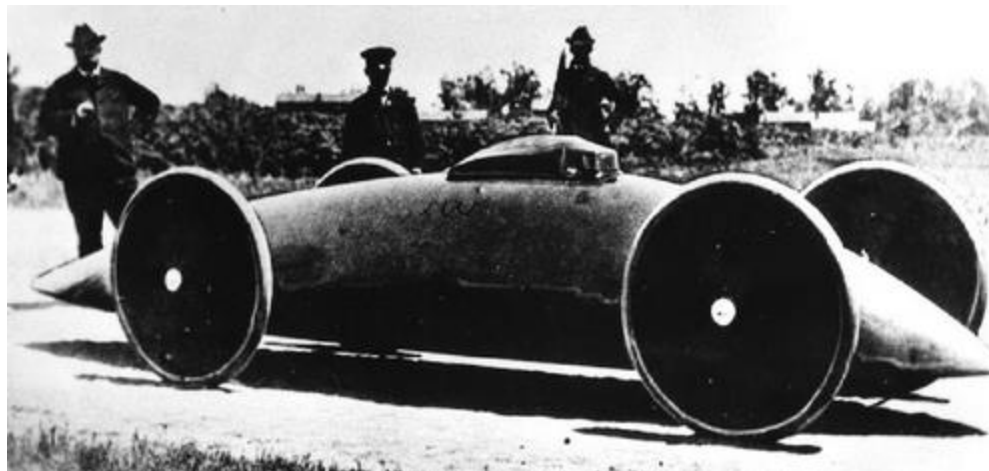
Obr.2: Electric Vehicle Company – taxi New York, USA 1897



Počátky elektromobility



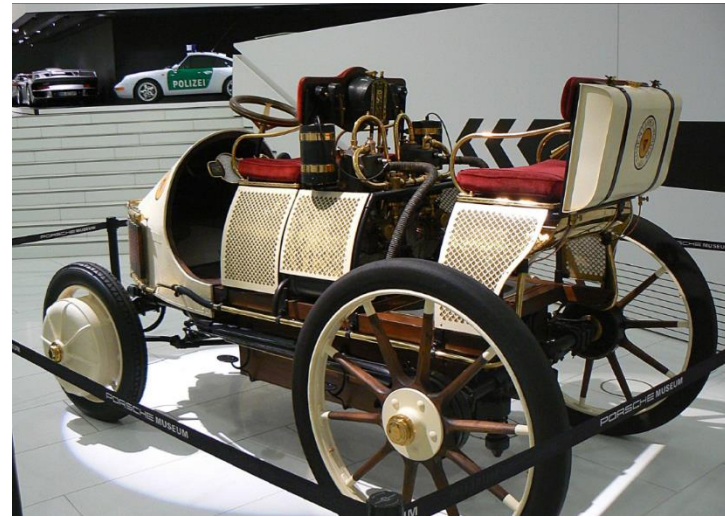
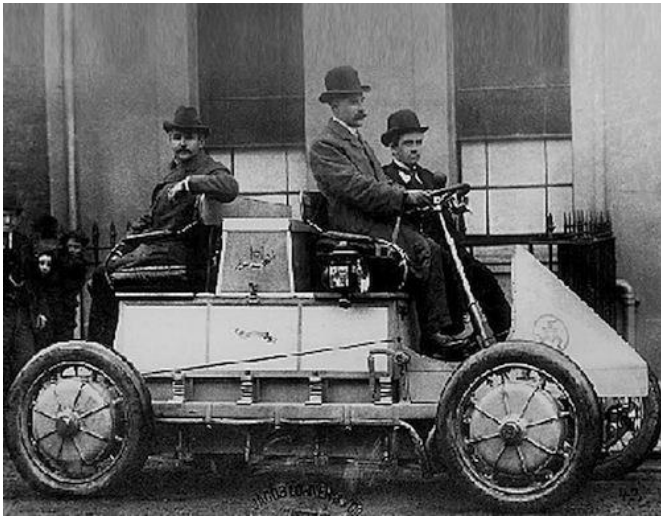
Obr.3: 1.6.1889 překonání rychlosti 100 km/h (105,8 km/h) elektromobil La Jamais Contente
výkon 68 k



Obr.4: Pokus o překonání rychlosti 200 km/h 1903 Baker Torpedo



Počátky elektromobility



***Obr.5:** První hybridní automobil Lohner-Porsche Mixte*

- Výroba mezi 1900-1905
- Vyrobeno 300 kusů
- Elektromotory v kolech
- Každý elektromotor asi 3 k špičkově 7 k
- Cena 14400 až 34028 Rakouských korun (80000-200000 USD dnes)



Počátky elektromobility



Obr.6: Plakát Baker Electric a Detroit Electric Clear Vision Brougham
1912



Počátky elektromobility



Obr.7: BMW 1602 E – letní Olympijské hry Mnichov 1972 – 32 kW, dojezd min 42 km



Obr.8: Enfield 8000 prodáno asi 150 ks dojezd 80-140 km



Olověný akumulátor

Olověný akumulátor

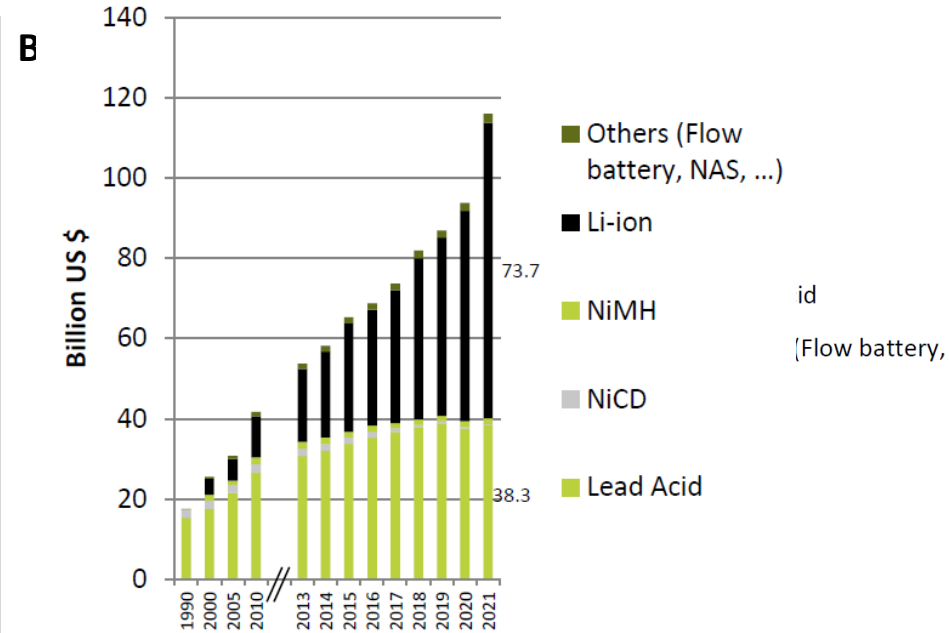
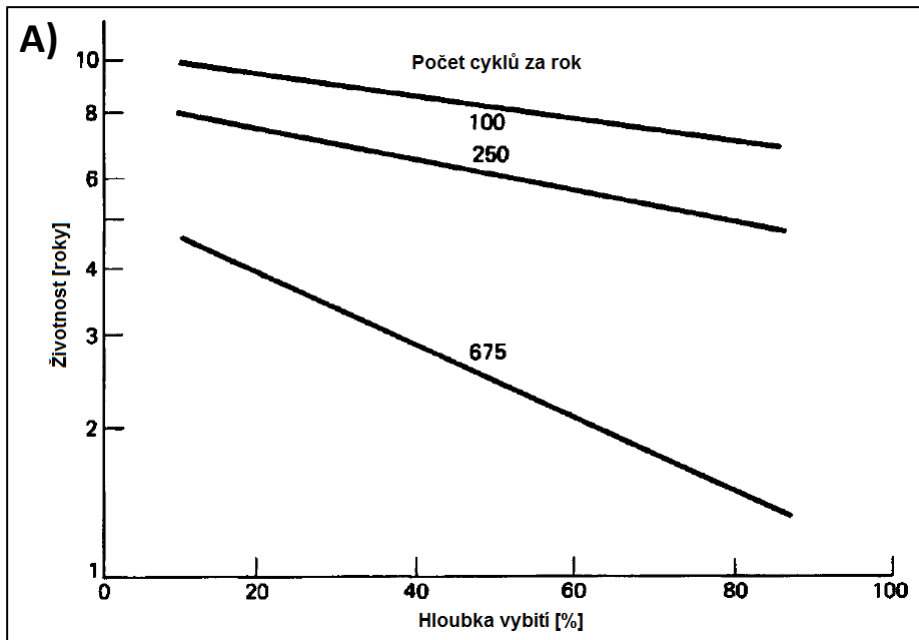
- *V nabytém stavu tvoří kladnou elektrodu PbO_2 (oxid olovičitý) a zápornou elektrodu houbovitě olovo Pb s vysokou porositou a tedy i vysokým měrným povrchem. Jako elektrolyt je použita kyselina sírová.*
- *Použití – startovací akumulátory, záložní zdroje a trakční akumulátory*
- *Nevýhodami olověného akumulátoru jsou nízká gravimetrická ($\sim 40 \text{ Wh/kg}$) a volumetrická hustota energie ($\sim 70 \text{ Wh/l}$)*
- *Výhodou je velká zatížitelnost spolehlivost v širokém rozsahu teplot, vysoká životnost, nízká pořizovací cena a snadná recyklace*



Obr.9: Startovací akumulátor



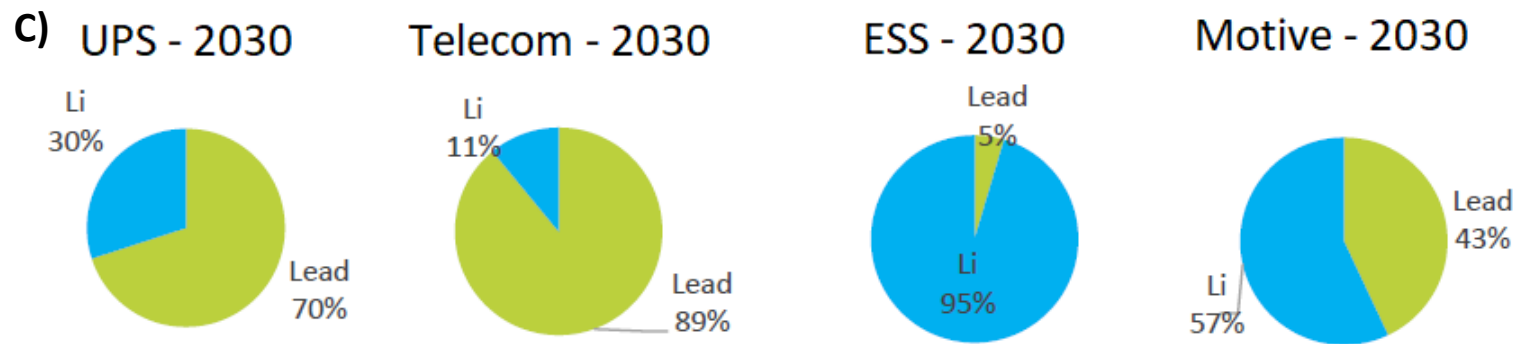
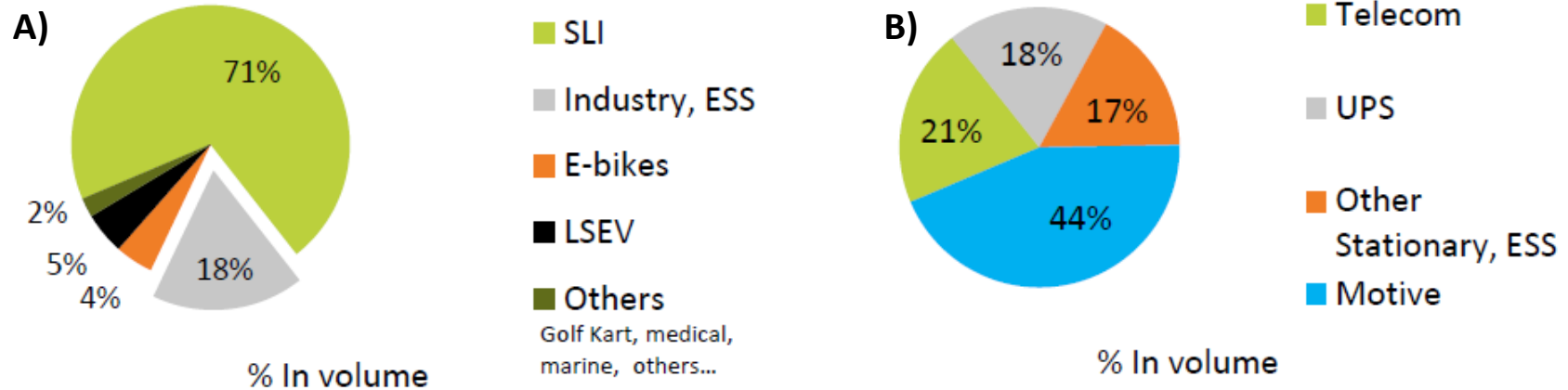
Olověný akumulátor



Obr.10: A) Vliv hloubky nabití na životnost olověného akumulátoru **B)** Zastoupení olověných akumulátorů na světovém trhu s akumulátory.



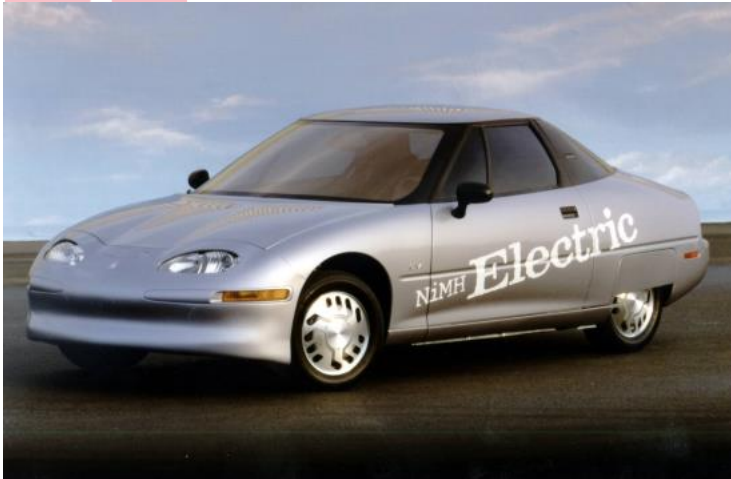
Olověný akumulátor



Obr.11: A) Přehled aplikací, B) Zastoupení olověných akumulátorů v průmyslových aplikacích, C) Výhled do roku 2030



Nástup moderní elektromobility



Obr.12: General Motors EV1 (1996-1999)



Obr.13: VW Golf CitySTROMer (1993-1998)



Obr.14: Citroen Saxo/ Peugeot 106e



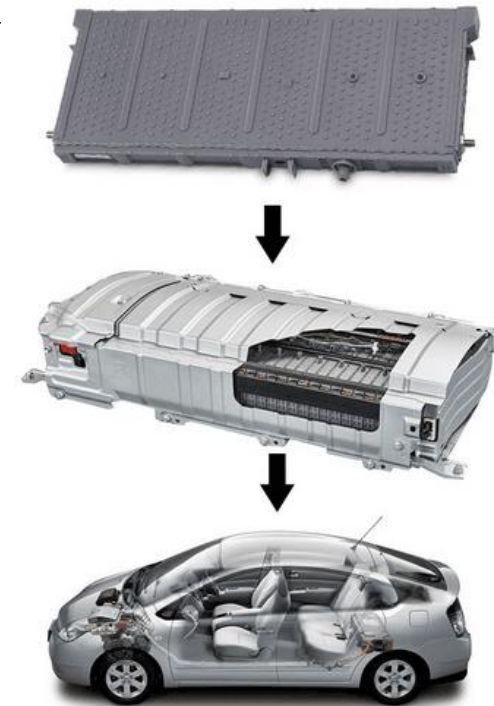
Ni-Cd akumulátor

- *Ni-Cd akumulátor se skládá v nabitém stavu z kladné elektrody tvořené NiO(OH) (oxid hydroxidu nikelnatého) a záporné elektrody kterou tvoří kadmium. Jako elektrolyt se využívá KOH rozpuštěný ve vodě a napuštěný do separátoru.*
- *Jmenovité napětí článku je 1,2 V, 50 Wh/kg, 100 Wh/l*
- *Použití menší přenosná zařízení, armáda, letectví*
- *Výhodou je vysoká spolehlivost a životnost, nízké nároky na údržbu a velký rozsah pracovních teplot přibližně od -40 °C do 60 °C.*
- *Nevýhodami paměťový efekt a obsah jedovatého kadmia*
- *V současnosti jsou nejčastější aplikací baterie do nářadí 63% trhu a bezpečnostní osvětlení 23%.*



Ni-MH akumulátor

- *Kladná elektroda je opětovně složena v nabitém stavu z NiO(OH) a jako elektrolyt je použit vodný roztok KOH . Záporná elektroda je tvořena kovovou slitinou, která je elektrochemicky aktivní.*
- *Použití – hybridní automobily, menší přenosná zařízení*
- *Výhodou oproti Ni-Cd je absence paměťového efektu a jejich menší ekologická zátěž.*
- *Nevýhodami pak menší rozsah pracovních teplot a větší samovybíjení 15-25 % za měsíc vs. 10-15 % za měsíc u Ni-Cd*

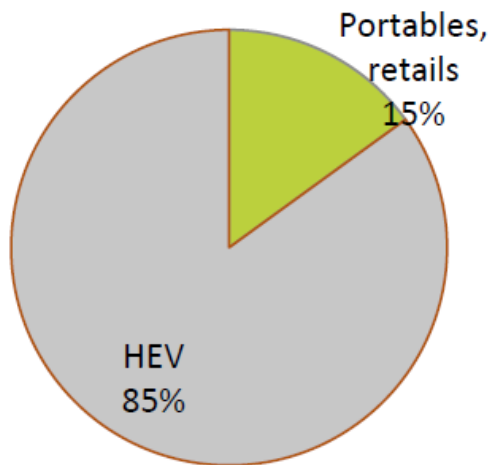


Obr.15: Ni-MH akumulátor Toyota Prius 2010-2015

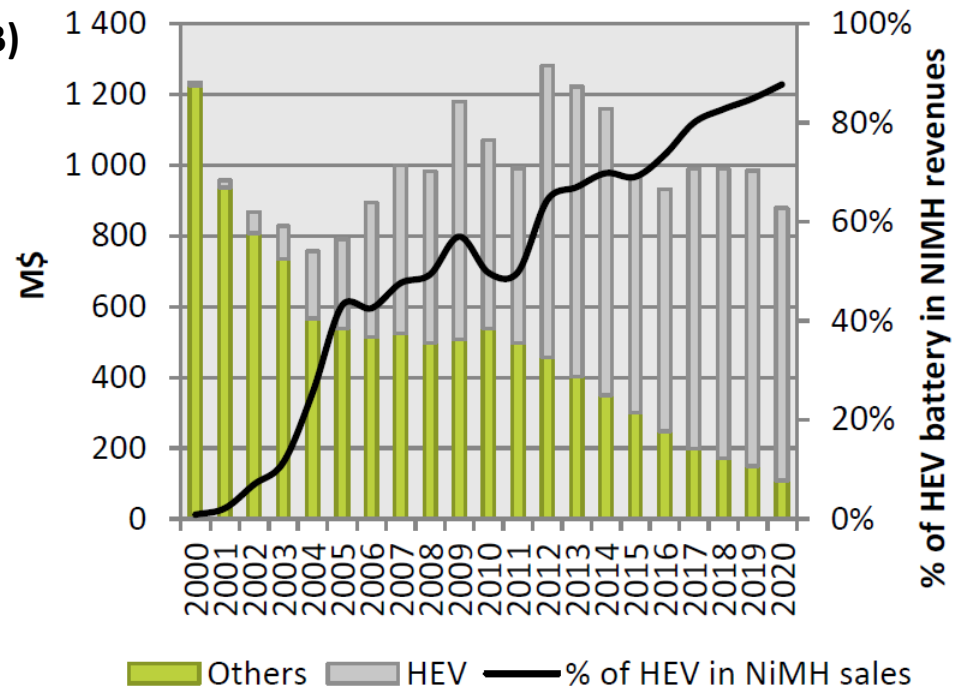


Ni-MH akumulátor

A)



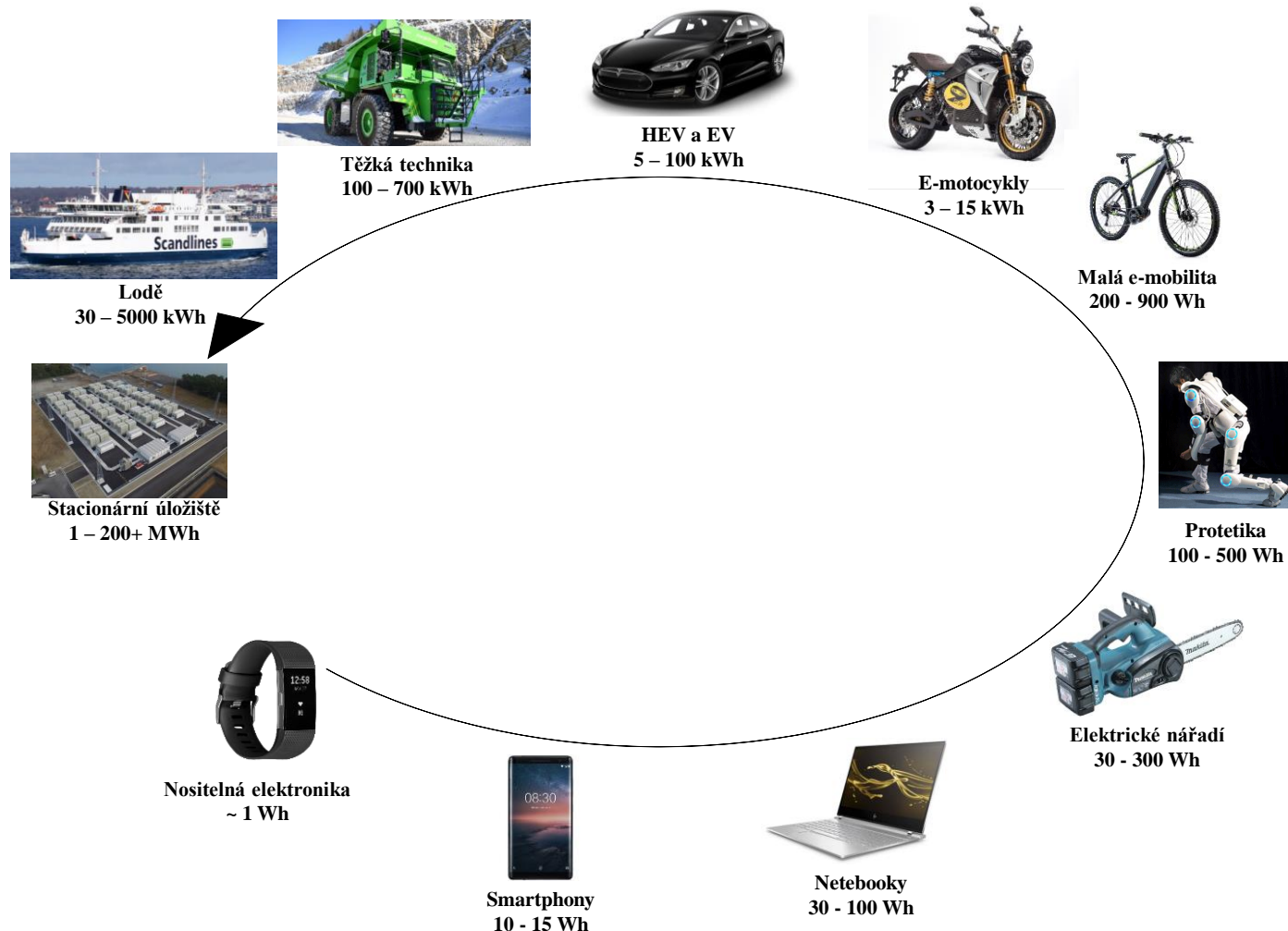
B)



Obr.16: A) Jednotlivé aplikace Ni-MH akumulátorů 2019, **B)** Vývoj využití Ni-MH akumulátorů pro aplikaci v HEV.



Využití Li-ion akumulátorů v současnosti



Obr.17: Příklady možného použití akumulátorů



Přehled technologií

Typ akumulátoru	Gravimetrická hustota energie [Wh/kg]	Volumetrická hustota energie [Wh/l]
Olověný akumulátor	40	70
Ni-Cd	50	100
Ni-MH	100	240
Li-Ion	260	700
Pokročilé Li-Ion	~ 350 – 400	~ 900
Post lithiové	>500	>1000

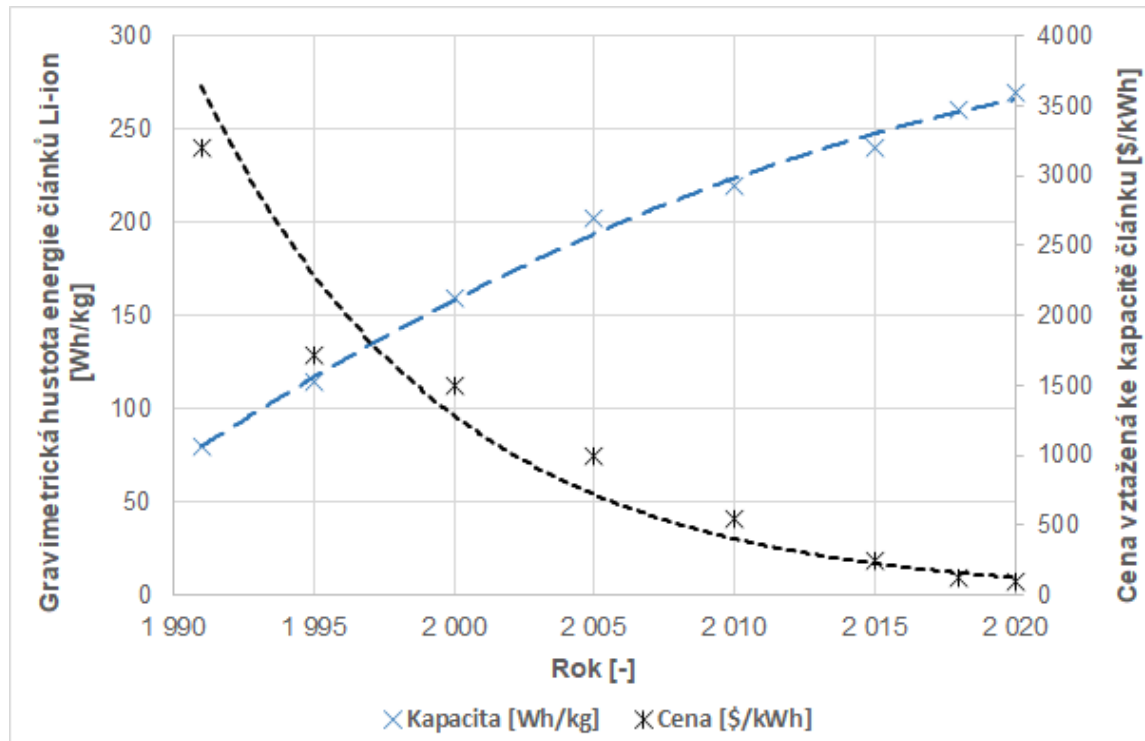
Výhody Li-ion akumulátorů:

- *Vysoký potenciál*
- *Vysoká gravimetrická hustota energie*
- *Vysoká volumetrická hustota energie*
- *Dlouhá životnost*
- *Malé samovybití*
- *Poměrně široká možnost optimalizace akumulátoru k danému použití*
- *Neobsahují nebezpečné kovy jako kadmium nebo olovo*



Lithno-iontové akumulátory

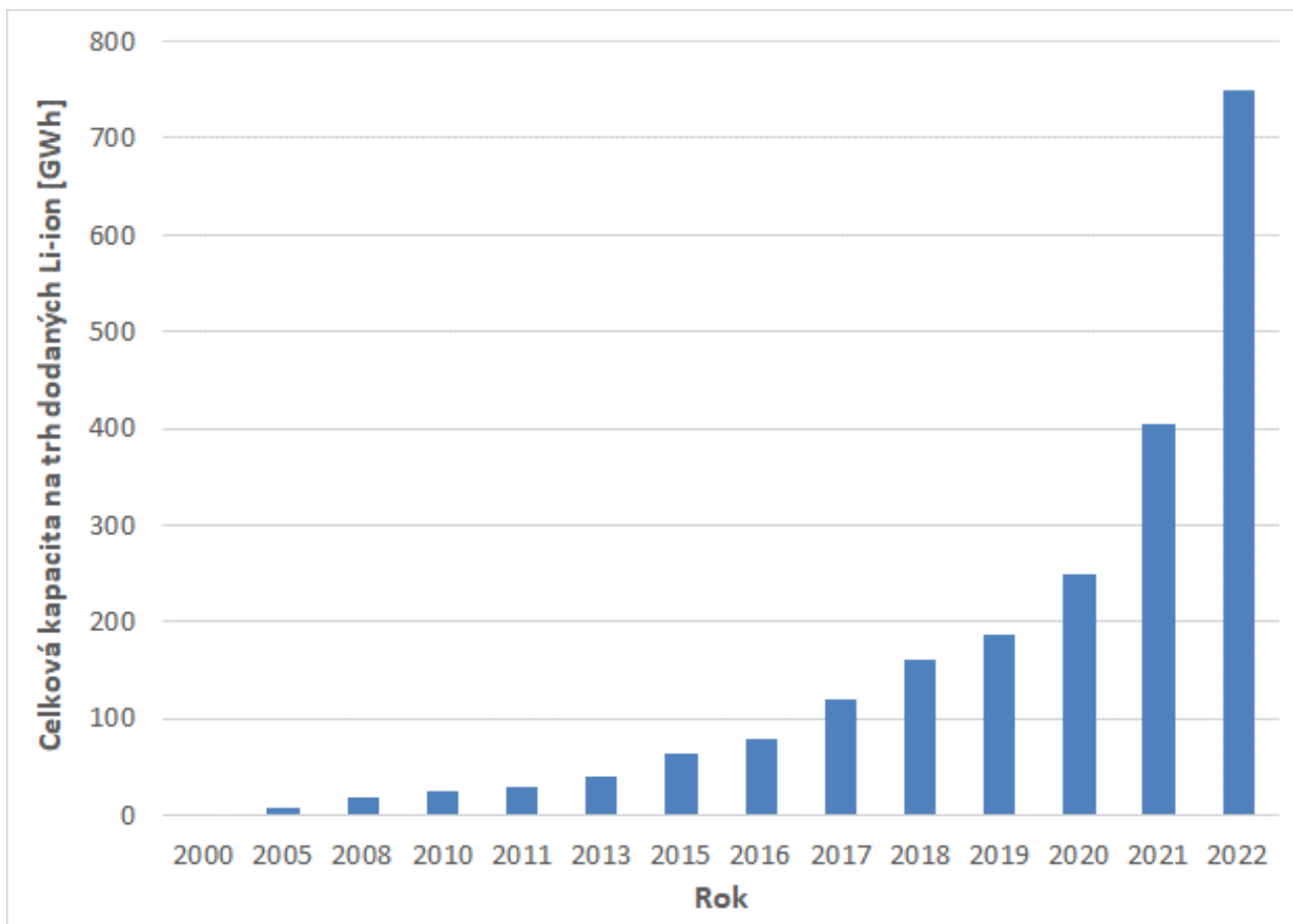
Od roku 1991 kdy byly Li-ion akumulátory uvedeny na trh se jejich kapacita ztrojnásobila z původních 80 Wh/kg na ~ 280 Wh/kg a současně jejich cena výrazně poklesla z původních 3200 \$/kWh na takřka 100 \$/kWh.



Obr.18: Vývoj ceny a hustoty energie Li-ion akumulátorů



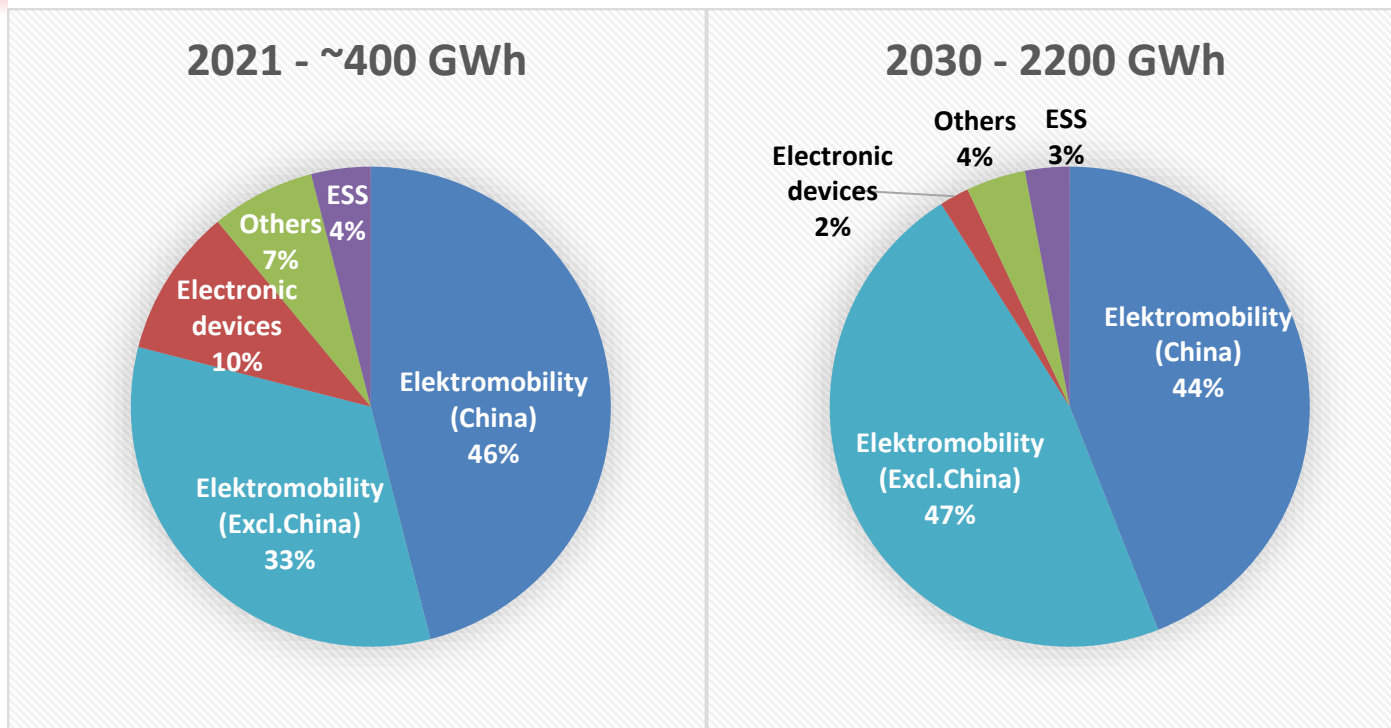
Lithno-iontové akumulátory



Obr.19: Vývoj celosvětové produkce Li-ion akumulátorů



Lithno-iontové akumulátory



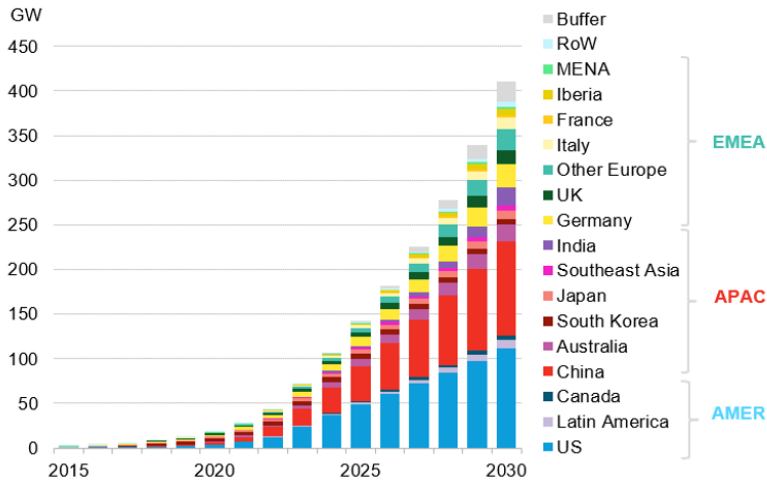
Obr.20: Prognóza vývoje trhu s Li-ion akumulátory

- Celosvětová spotřeba energie za 1 min – 46,4 GWh (2022)
- Průměrná denní brutto spotřeba ČR – 193,9 GWh (2022)
- Spotřeba Pardubického kraje v červenci 2019 – 177,54 GWh



Lithno-iontové akumulátory - úložiště

Figure 1: Global cumulative energy storage installations, 2015-2030

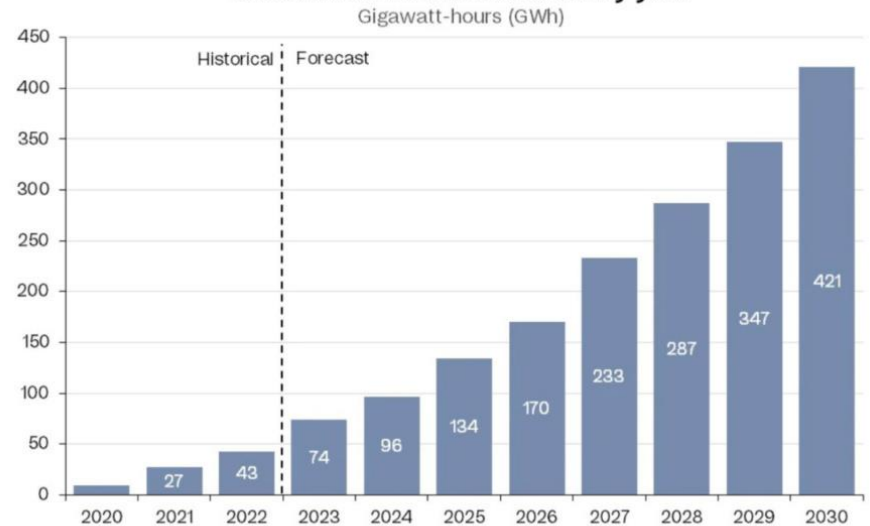


Source: BloombergNEF. Note: "MENA" refers to the Middle East and North Africa; "RoW" refers to the rest of the world. "Buffer" represents markets and use cases that BNEF is unable to forecast due to lack of visibility.

Obr.21: Celosvětový instalovaný výkon úložišť energie do roku 2030 – 411 GW/1194 GWh dle BloombergNEF rok 2022

BloombergNEF rok 2023 – Předpokládá v roce 2030: 508GW/1432 GWh v Evropě 114GW/285GWh

Global new BESS installations by year



Source: Rystad Energy's Battery Solution, June 2023
A Rystad Energy graphic

Obr.22: Predikce celosvětové kapacity bateriových úložišť energie (2020-2030) v roce 2030 odhadují výkon 110 GW dle Rystad Energy



Lithno-iontové akumulátory - úložiště

Úložiště Li-ion ve světě:

Hornsedale Power Reserve (TESLA) – uložiště s kapacitou 129 MWh a maximálním výkonem 100 MW. Slouží k balancování dodávek z OZE 315 MW . V současnosti 193,5 MWh/150 MW. Austrálie

Kauai battery systém (TESLA) – uložiště s kapacitou 52 MWh v kombinaci s FV elektrárnou 13 MW. Havaj ušetří se 6 mil litrů nafty.

AES Alamitos Energy Storage Array – uložiště s maximálním výkonem 100 MW a kapacitou 400 MWh. Jedná se o uložiště energie spojené s větrnou elektrárnou o výkonu 153 MW. USA

Moss Landing Battery Storage Project – uložiště využívající akumulátory od LG Energy Solution s kapacitou 3000 MWh a maximálním výkonem 750 MW (Dlouhé stráně – 3700 MWh/650 MW). Tento systém využívá prostory bývalé elektrárny. Dále má být rozšířen na kapacitu 6000 MWh a výkon 1500 MW.





Lithno-iontové akumulátory - úložiště

Úložiště Li-ion ČR:

Úložiště v provozu:

Prakšice (Solar Global) – úložiště s kapacitou 1,2 MWh a maximálním výkonem 1 MW.

Mydlovary (E.ON) – úložiště s kapacitou 1,8 MWh a maximálním výkonem 1 MW.

Tušimice (ČEZ) – úložiště s kapacitou 2,8 MWh a maximálním výkonem 4 MW.

Planá nad Lužnicí (C-Energy) – úložiště s kapacitou 2,5 MWh a maximálním výkonem 4 MW.

Královské Poříčí (SUAS) – úložiště s kapacitou 7,45 MWh a maximálním výkonem 2,5 MW.

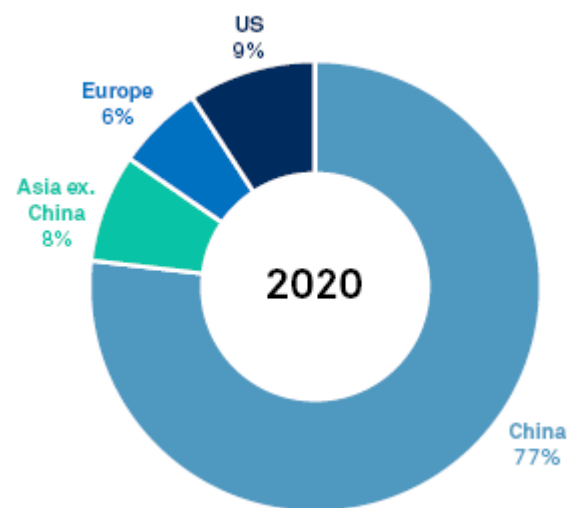
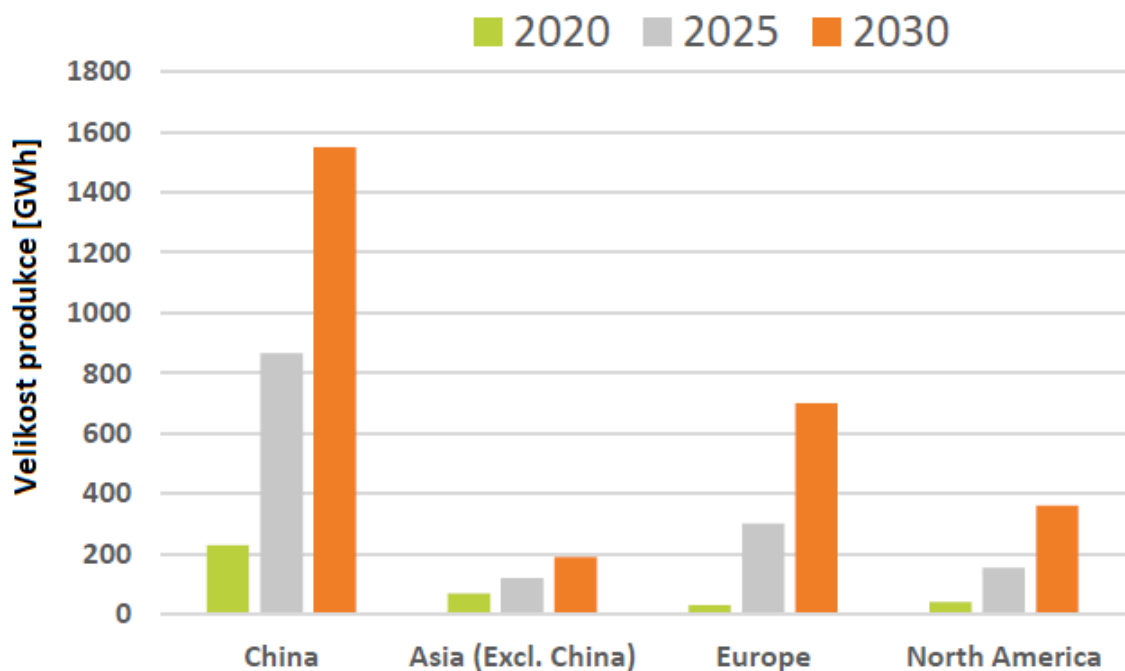
Jeseník (Fenix Group) – úložiště s kapacitou 2,95 MWh a maximálním výkonem 1,44 MW.

Predikce rozvoje OZE do 2050 a úložišť ČEPS a projekt SEEPIA:

Úložiště v ČR – 802 MW - 2025, 2 GW - 2030, 2,3 GW - 2035



Lithno-iontové akumulátory



Obr.23: Podíl na výrobě Li-ion akumulátorů v jednotlivých letech

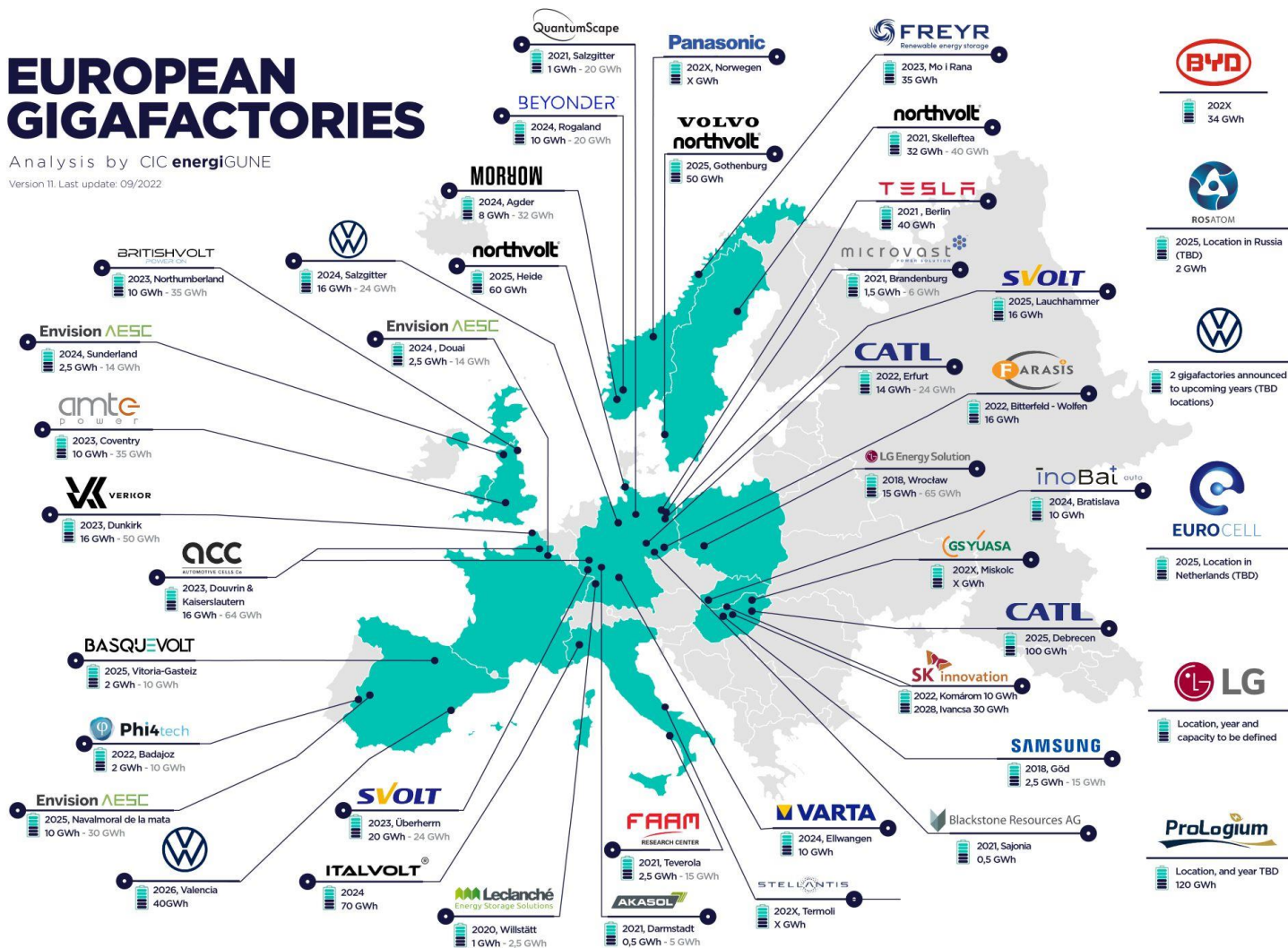


Lithno-iontové akumulátory

EUROPEAN GIGAFACTORIES

Analysis by CIC energiGUNE

Version 11. Last update: 09/2022



Obr.24: Plánované továrny v EU prostoru



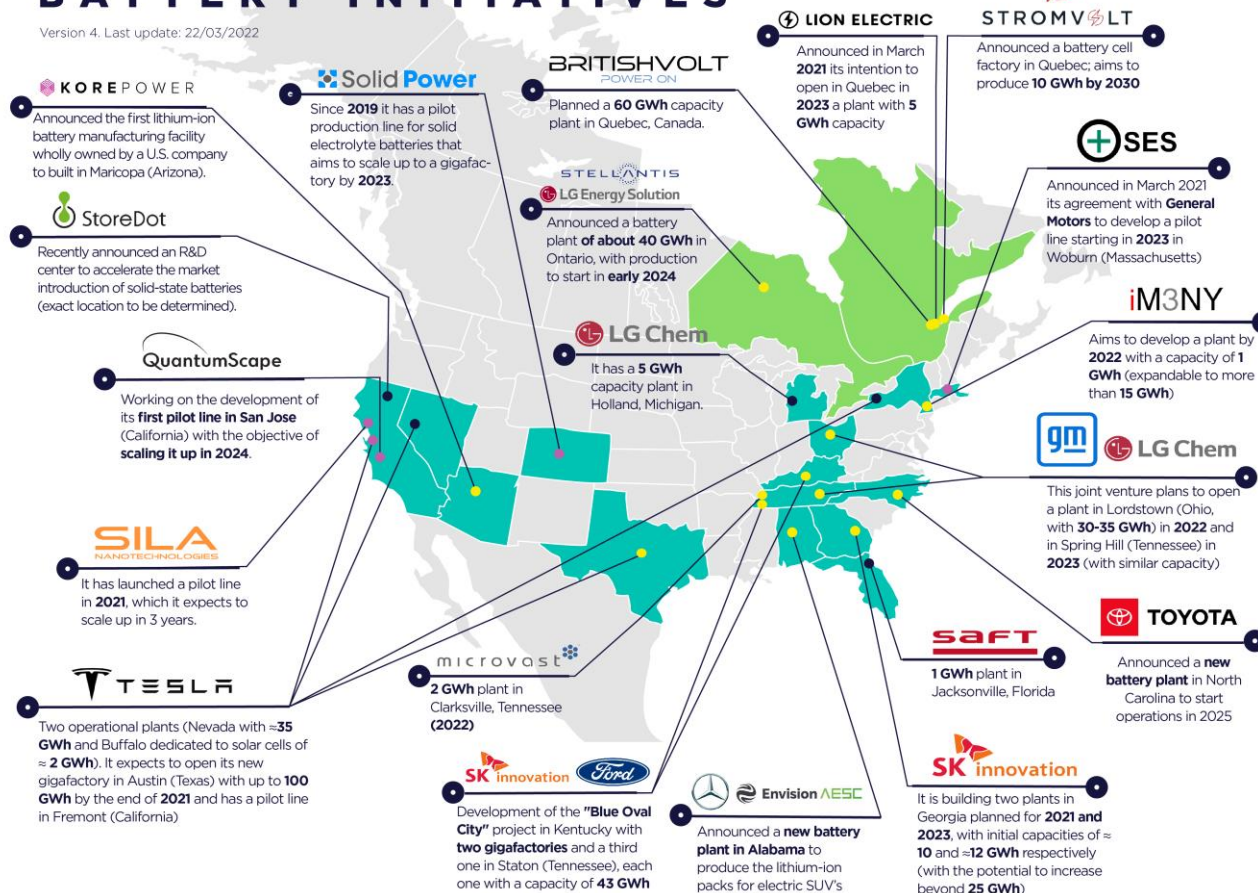
Lithno-iontové akumulátory

NORTH AMERICAN BATTERY INITIATIVES

Version 4. Last update: 22/03/2022

Analysis by CIC energiGUNE

- OPERATIONAL PLANT
- PROJECT IN PROGRESS
- OPERATIONAL PILOT LINE OR IN PROGRESS



STELLANTIS
SAMSUNG
Announced that they will form a **Joint Venture** to operate, starting in **2025**, a **gigafactory** of about **40 GWh**.

FREYR **KOCH**
They have announced a **joint venture (50% each)** to start building a **gigafactory in the USA** (the final location has not yet been determined)

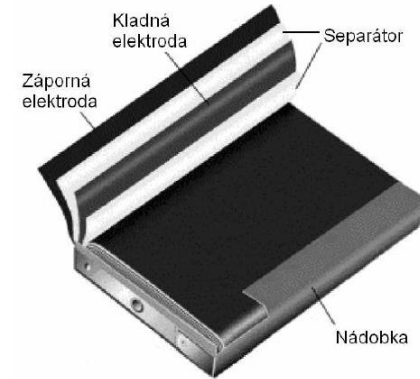
Obr.25: Plánované továrny v USA



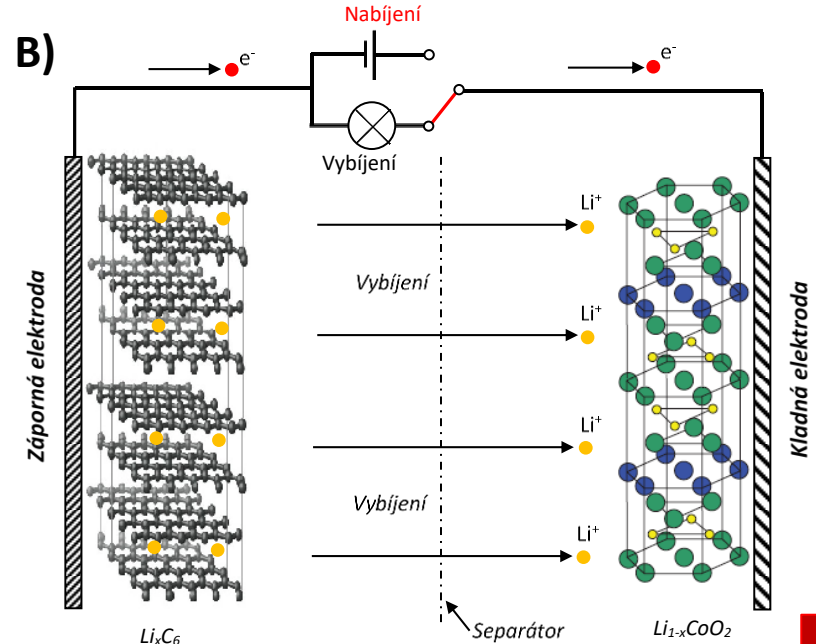
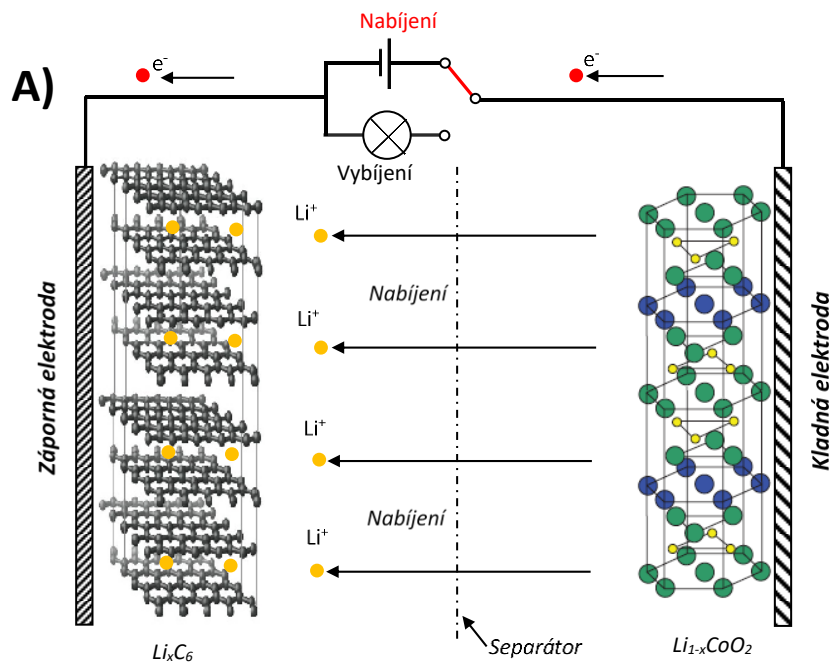
Základní seznámení s Li-ion akumulátory

Základní části baterie:

- Anoda
- Katoda
- Elektrolyt
- Separátor



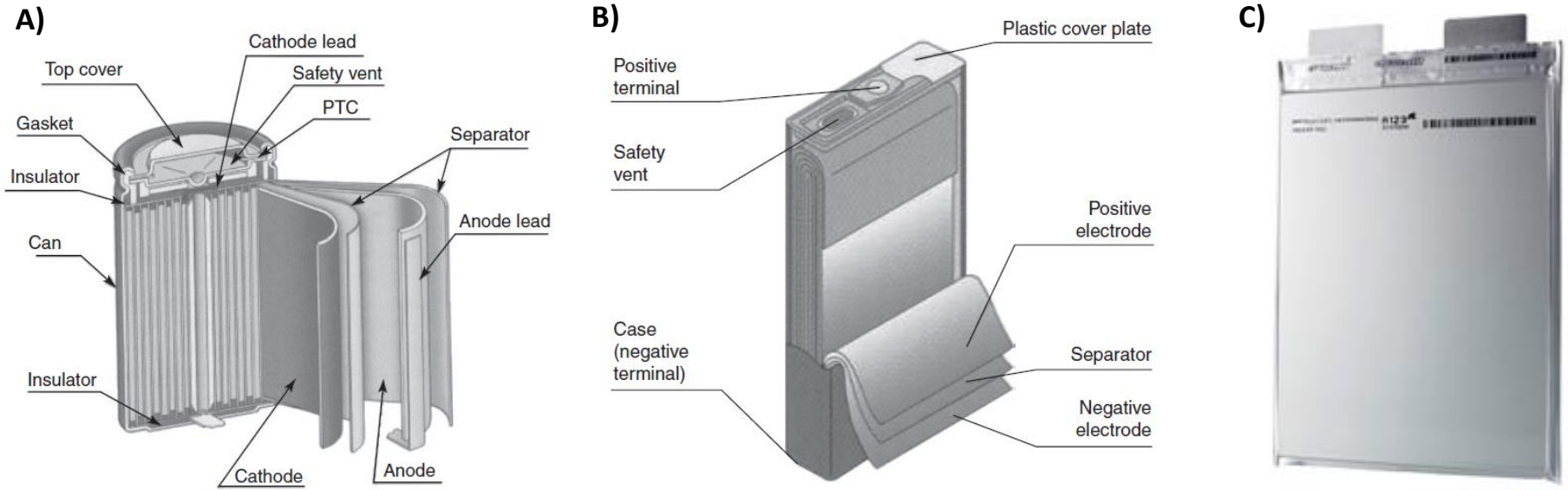
Obr.26: Příklad Li-ion článku



Obr.27: Princip funkce Li-ion akumulátoru: A) proces nabíjení; B) proces vybití



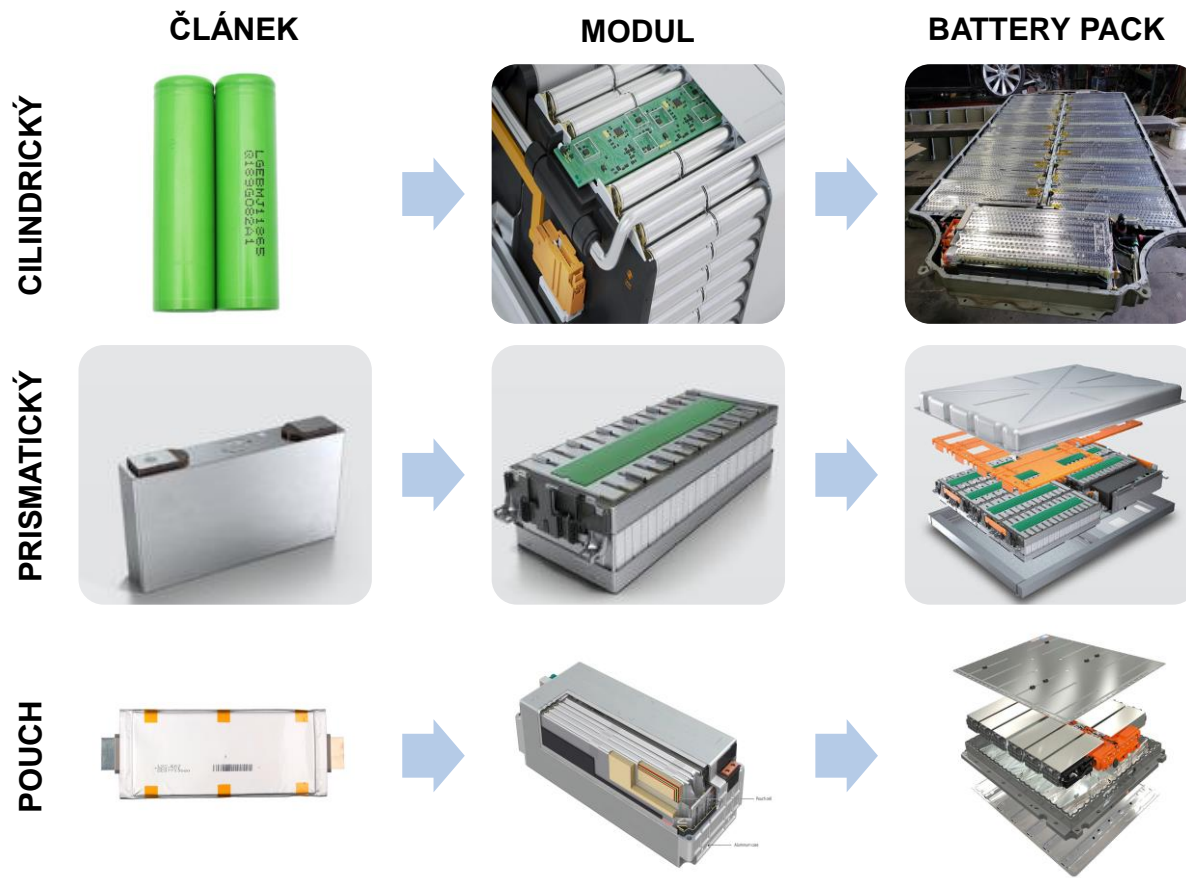
Základní seznámení s Li-ion akumulátory



Obr.28: Typy akumulátorů dle konstrukce: A) Cylindrická, B) Prismatická, C) Pouch



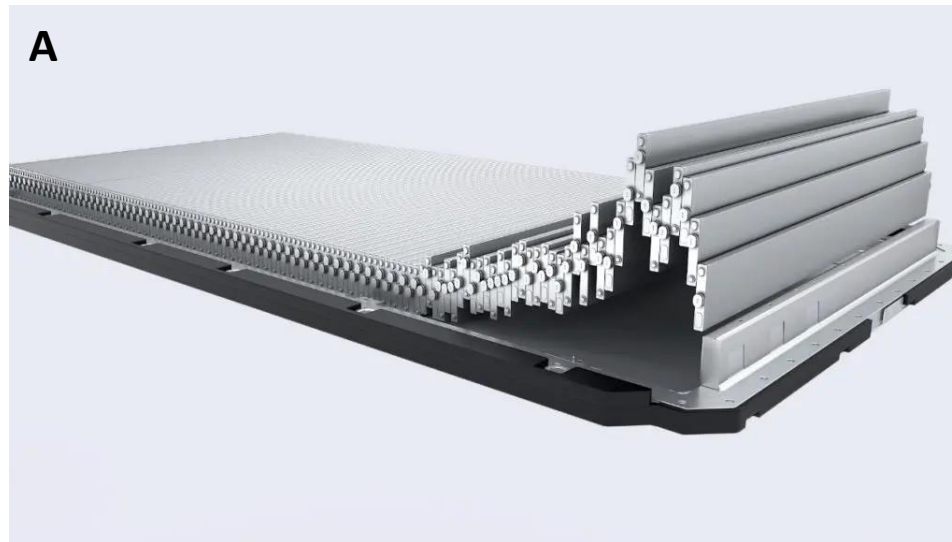
Základní seznámení s Li-ion akumulátory



Obr.29: Vliv na zástavbu do battery packu



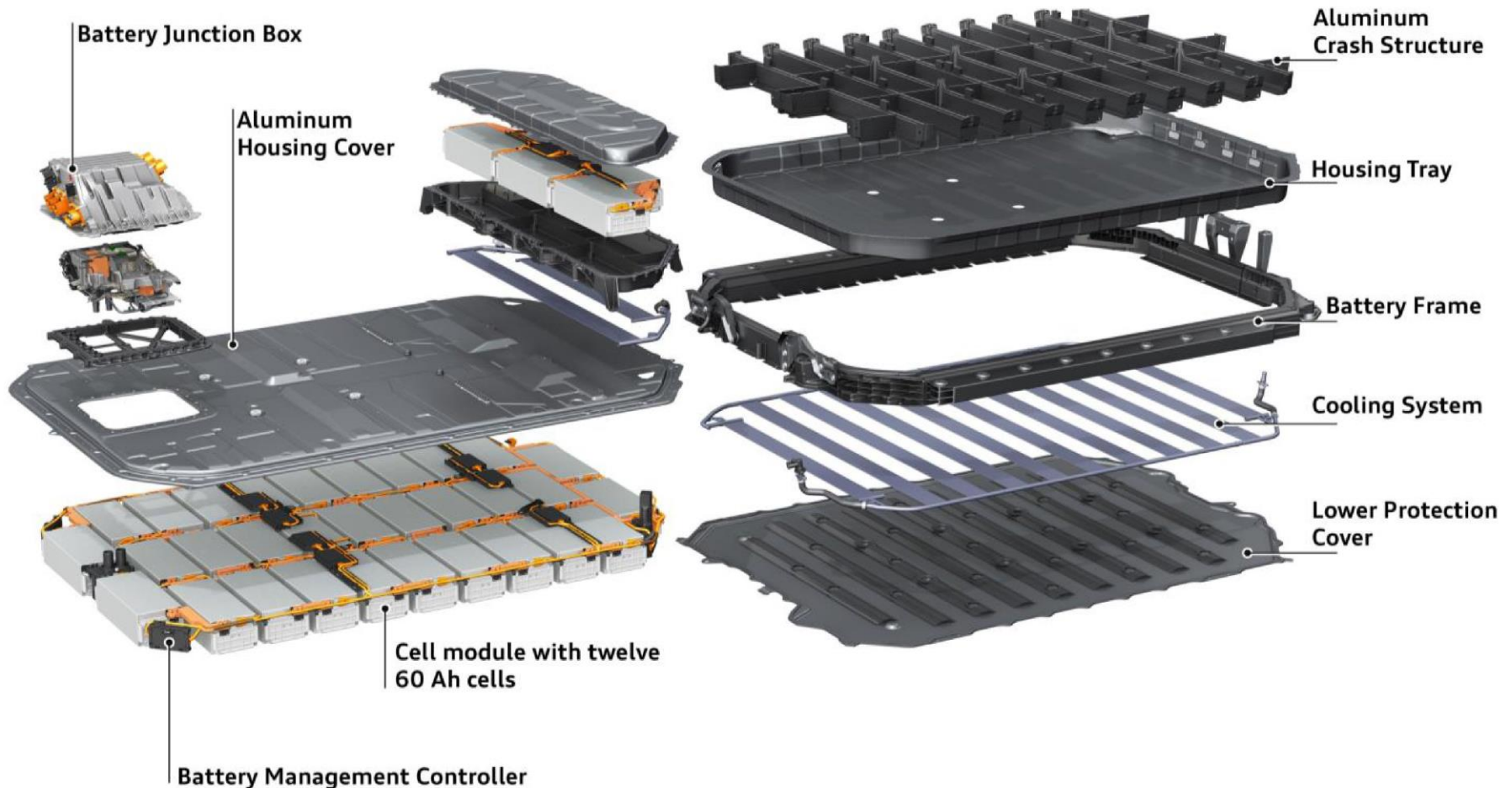
Základní seznámení s problematikou



Obr.30: Nový koncept cell to pack: A) Blade battery, B) Tesla 4680



Základní seznámení s problematikou



Obr.31: Struktura battery packu Audi e-tron



Katodové a anodové materiály pro Li-ion akumulátory

Tab.2: Porovnání vlastností jednotlivých katodových materiálů

Materiál	Kapacita [mAh/g]	Potenciál vůči Li [V]	Gravimetrická hustota energie [Wh/kg]
LiCoO ₂ (LCO)	145 (274)	3,88	550
LiMn ₂ O ₄ (LMO)	110-120 (148)	4,0	450-490
LiFePO ₄ (LFP)	160 (170)	3,4	540
LiNi _{0,8} Co _{0,15} Al _{0,05} O ₂ (NCA)	180 (279)	3,7	670
LiNi _{0,33} Mn _{0,33} Co _{0,33} O ₂ (NMC)	170 (279)	3,7	630

Tab.3: Porovnání vlastností jednotlivých anodových materiálů

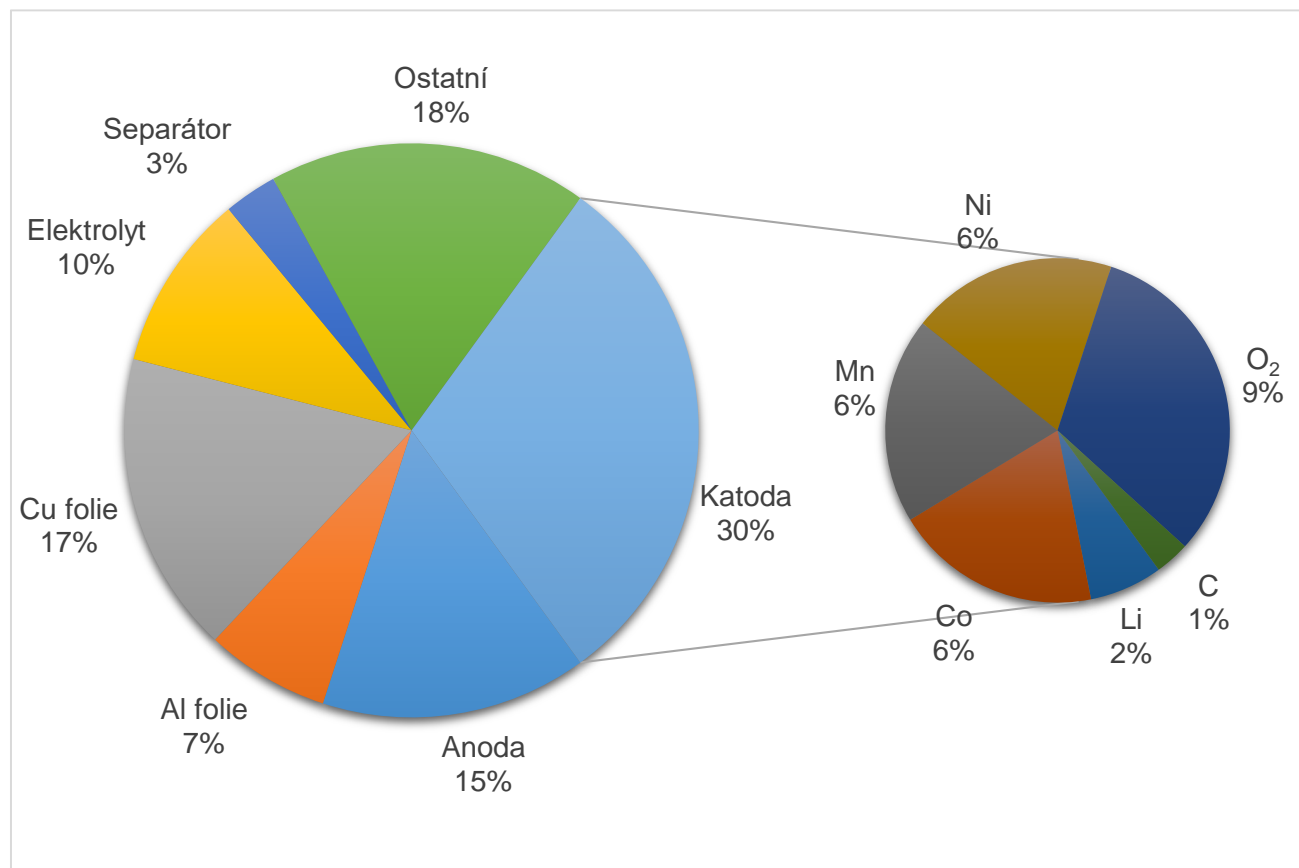
Materiál	Kapacita [mAh/g]	Potenciál vůči Li [V]
Grafit	350	0,1
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ (LTO)	175	1,55
Křemík	3579 (Li ₁₅ Si ₄)	0,4



Li-ion – složení a recyklace

V případě klasického NMC článku 1 kWh obsahuje přibližně:

- 0,11 kg Li
- 0,32 kg Co
- 0,31 kg Ni
- 0,31 kg Mn
- 1,13 kg Al
- 0,26 kg Cu

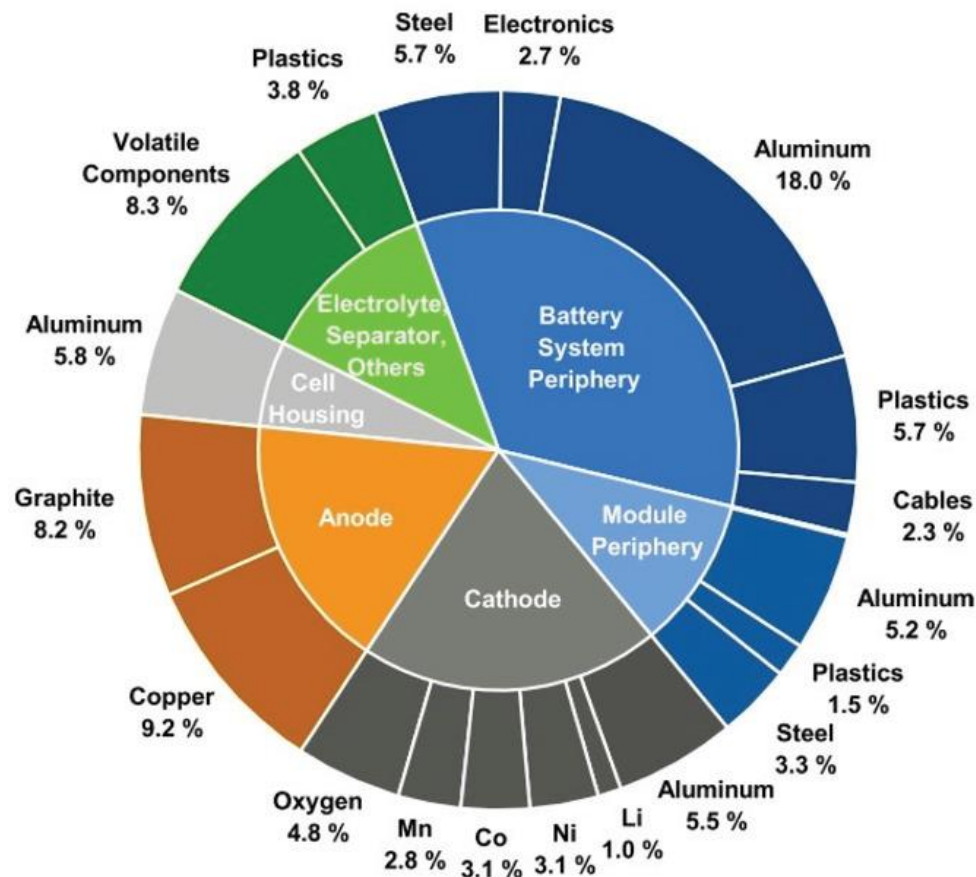


Obr.32: Složení Li-ion akumulátoru



Li-ion – složení a recyklace

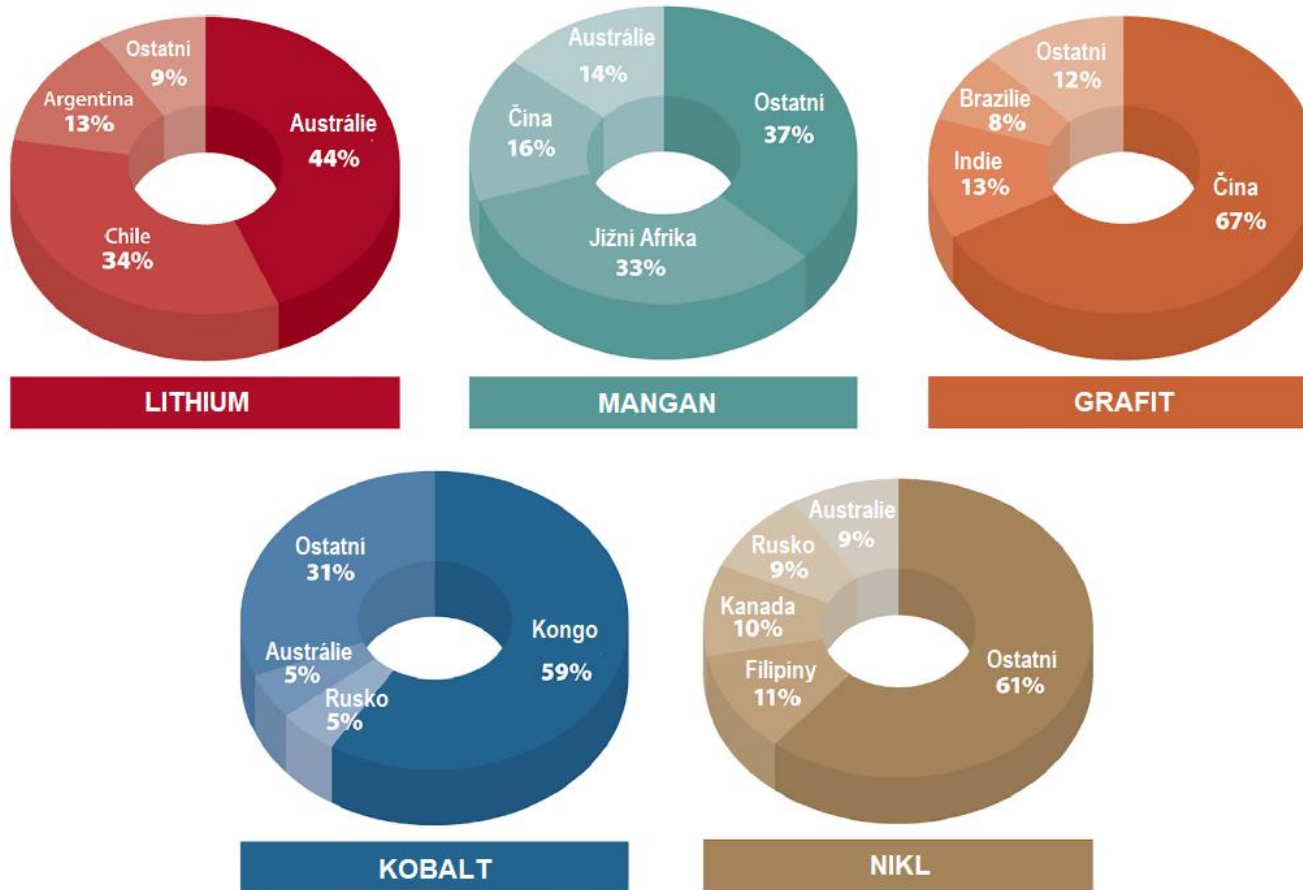
- Nejčastěji vyskytujícími se kovy v Li-ion akumulátorech jsou hliník, měď a železo.



Obr.33: Vliv na zástavbu do battery packu



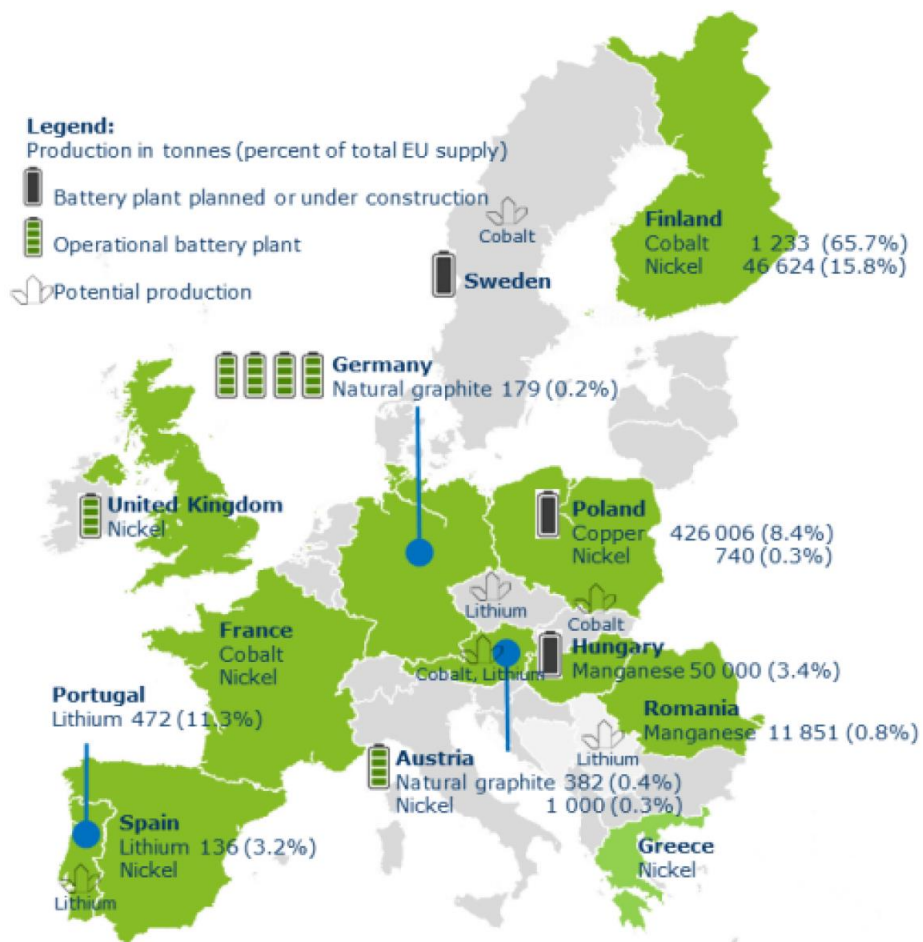
Li-ion – složení a recyklace



Obr.34: Lokality produkce prvků používaných v Li-ion akumulátorech



Li-ion – složení a recyklace

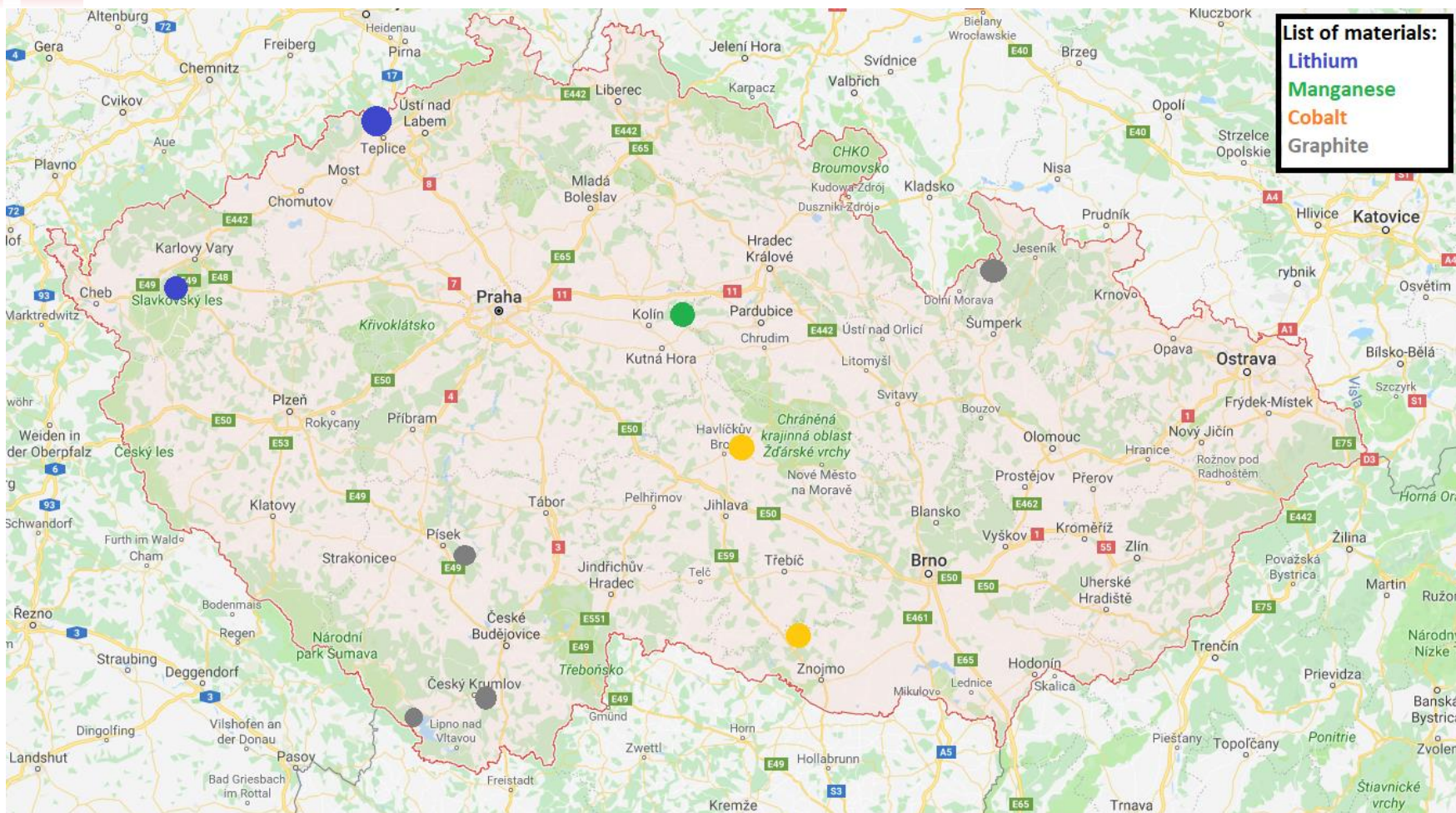


Source: EU Criticality assessment 2017

Obr.35: Materiály pro těžbu v rámci EU



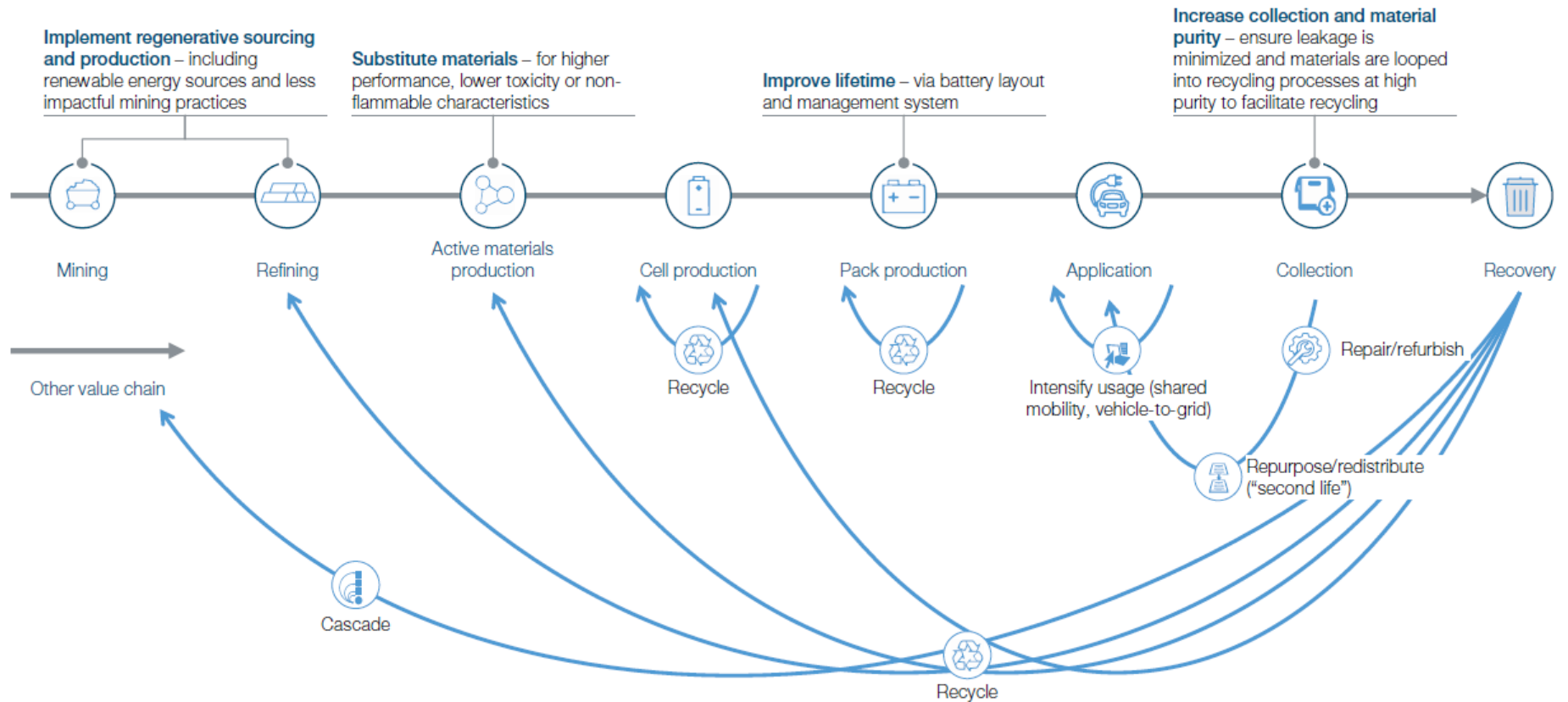
Li-ion – složení a recyklace



Obr.36: Materiály pro těžbu v rámci ČR



Li-ion – složení a recyklace



Obr.37: Výrobní řetězec včetně recyklace



Li-ion – složení a recyklace

1 ton of battery-grade **lithium** can come from:



1 ton of battery-grade **cobalt** can come from:



Using **recycled materials*** from spent batteries has potential to **decrease**:



- Costs by **40%**
- Energy use by **82%**
- Water use by **77%**
- SO_x emissions by **91%**

Obr.38: Výhody recyklace



Li-ion – složení a recyklace

- Nová EU směrnice k recyklaci

Nejnovější "NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2023/..."					
Lhůta kdy má být dosaženo včetně	Recyklační účinnost z průměrné hmotnosti lithiových baterií	Cobalt	Copper	Lithium	Nickel
Současnost	50%				
31.12.2025	65%				
31.12.2027	65%	90%	90%	50%	90%
31.12.2030	70%	90%	90%	70%	90%
31.12.2031	70%	95%	95%	80%	95%

minimální recyklační účinnost nejpozději do 31.12.2025 pro Li baterie 65 %.

nejpozději do 31.12. 2027 minimální míra materiálového využití Co, Ni a Cu 90 %, Li 50 %.

minimální recyklační účinnost nejpozději do 31.12.2030 Li baterie 70 %.

nejpozději do 31.12.2031 minimální míra materiálového využití Co, Ni a Cu 95 %, Li 80 %.



Li-ion – složení a recyklace

- Nová EU směrnice k recyklaci

Povinnost využití recyklátu od 2031

- a) kobalt 16 %
- b) olovo 85 %
- c) lithium 6 %
- d) nikl 6 %.

Povinnost využití recyklátu od 2036

- a) kobalt 26 %
- b) olovo 85 %
- c) lithium 12 %
- d) nikl 15 %.

2026 - Battery passport (informace o složení a CO₂ stopě)



Děkuji za Vaši pozornost

