

Dušan Medved', Michal Kolcun, Marek Pavlík, Jozef Király

## X2G: Revolúcia v energetických sieťach – analýza, aplikácie a výhľad do budúcnosti

Tento článok sa zaoberá problematikou X2G (akékoľvek zariadenie pripojené do energetického gridu), kľúčovým prvkom moderných inteligentných energetických sietí. Naše prenikavé štúdie sa sústreďujú na význam X2G v kontexte obnoviteľných zdrojov energie a jeho úlohu v optimalizácii existujúcich energetických systémov. V príspevku sú uvedené rôzne typy zariadení, ktoré sa dajú pripojiť do sietí, ako sú domáce spotrebiče, priemyselné zariadenia, systémy pre skladovanie energie a infraštruktúra pre nabíjanie elektrických vozidiel. Kľúčovým bodom diskusie je inteligentná komunikácia v rámci X2G a jej vplyv na riadenie záťaže a optimalizáciu využitia energie. Zároveň hodnotíme prínosy a výzvy spojené s X2G, zahrňujúce technické, ekonomické a regulačné aspekty, ako aj bezpečnosť a ochranu údajov. V článku sú ďalej prezentované tiež prípadové štúdie z reálneho života, ktoré demonštrujú praktické využitie X2G. Tento článok uzatvára výhľad do budúcnosti X2G, zdôrazňujúc jeho potenciálnu úlohu v stratégiách znižovania emisií a dosahovania udržateľnosti. Tento príspevok tak poskytuje komplexný prehľad X2G a jeho možného dopadu na budúcnosť energetických systémov.

Kľúčové slová: X2G, inteligentné siete, obnoviteľné zdroje energie, optimalizácia energetických systémov, pripojené zariadenia, riadenie záťaže, bezpečnosť a ochrana údajov, prípadové štúdie, stratégie znižovania emisií, udržateľnosť.

This paper explores the issue of X2G (any device connected to the power grid), a key element of modern intelligent energy networks. Our insightful studies focus on the significance of X2G in the context of renewable energy sources and its role in optimizing existing energy systems. We review various types of devices that can be connected to the networks, such as household appliances, industrial devices, energy storage systems, and charging infrastructure for electric vehicles. A key point of discussion is intelligent communication within X2G and its impact on load management and energy use optimization. We also evaluate the benefits and challenges associated with X2G, including technical, economic, and regulatory aspects, as well as data security and protection. We also present case studies from real life that demonstrate the practical use of X2G. The article concludes with a look into the future of X2G, emphasizing its potential role in emission reduction strategies and achieving sustainability. This contribution thus provides a comprehensive overview of X2G and its possible impact on the future of energy systems.

Keywords: X2G, smart grids, renewable energy sources, energy system optimization, connected devices, load management, data security and protection, case studies, emission reduction strategies, sustainability

### I. ÚVOD

X2G, často nazývané aj „všetko do siete“ (Everything-to-Grid), je koncept, ktorý sa odvoláva na integráciu rozličných typov zariadení do energetických sietí. Podobne ako koncept vozidiel V2G (Vehicle-to-Grid), kde sú elektrické vozidlá integrované do siete tak, že môžu dodávať alebo skladovať energiu, X2G rozširuje tento prístup na širšiu škálu technológií a aplikácií.

Pri hľadaní riešení pre efektívnejšie využitie obnoviteľných zdrojov energie a optimalizáciu existujúcich energetických systémov zohráva X2G kľúčovú úlohu. Prístup X2G zahŕňa množstvo zariadení, vrátane, ale nielen, domácich spotrebičov, priemyselných zariadení, systémov pre skladovanie energie a iných technológií, ktoré môžu byť pripojené k sieti a prispieť k jej stabilite a efektívnosti.

Súčasťou konceptu X2G je aj inteligentná komunikácia medzi zariadeniami a sieťou, čo umožňuje pokročilé riadenie záťaže a optimalizáciu využitia energie. Tento prístup prispieva k zlepšeniu celkového výkonu energetických sietí, znižovaniu emisií skleníkových plynov a zvyšovaniu účinnosti obnoviteľných zdrojov.

X2G teda predstavuje kľúčový prvok budúcej inteligentnej siete (smart grid), ktorá by bola schopná efektívne riadiť dodávku a dopyt po energii v reálnom čase, čím by sa zvýšila celková energetická efektívnosť a bezpečnosť. Je to oblasť, ktorá je stále vo vývoji, no jej potenciál pre budúcnosť elektroenergetiky je obrovský.

### II. X2G A JEHO SÚVISLOSŤ S MODERNOU ELEKTROENERGETIKOU

X2G umožňuje rôznym technológiám – od domácich spotrebičov, cez priemyselné zariadenia, až po systémy skladovania energie a elektrické vozidlá – aby sa stali aktívnymi prvkami v energetických sieťach, či už pri dodávke, skladovaní alebo regulácii spotreby energie.

Jedným z najväčších prínosov X2G je jeho potenciál vytvoriť inteligentné siete (smart grid). Tieto siete sú definované svojou schopnosťou flexibilne reagovať na zmeny v dopyte a dodávke energie, čo umožňuje efektívnejšie riadenie energie a redukciu nákladov. X2G zariadenia sú schopné komunikovať so sieťou v reálnom čase a môžu byť riadené na diaľku, čo umožňuje pokročilé riadenie záťaže a optimalizáciu využitia energie. Tým sa zvyšuje efektívnosť siete, zlepšuje sa stabilita a znižuje sa potreba nadmerných a nákladných rezerv energie.

V kontexte obnoviteľných zdrojov energie je X2G kľúčovým nástrojom na vyriešenie niektorých z ich hlavných výziev, ako je napríklad variabilita výroby. Keďže výroba energie z obnoviteľných zdrojov, ako sú solárne a veterné elektrárne, závisí od poveternostných podmienok, môže byť ich dodávka nestabilná. X2G môže pomôcť vyrovnávať tieto kolísania tým, že v čase nadbytku

energie umožní skladovanie prebytočnej energie v pripojených zariadeniach, a naopak, v čase nedostatku energie umožní využitie tejto uloženej energie.

X2G je tiež ústredným prvkom pri optimalizácii existujúcich energetických systémov. Pripojením viacerých zariadení do siete môže X2G pomôcť optimalizovať využitie infraštruktúry, znižovať stratu energie počas prenosu a distribúcie, a prispieť k vytváraniu decentralizovanejších a odolnejších energetických systémov. X2G umožňuje, aby boli zariadenia nielen pasívnymi spotrebičmi, ale aj aktívnymi účastníkmi v energetickom systéme, čo zvyšuje flexibilitu a efektívnosť siete ako celku.

### III. TYPY ZARIADENÍ V RÁMCI X2G

V rámci X2G môžu byť do energetických sietí integrované rôzne typy zariadení, čo vytvára širokú sieť inteligentných, interoperabilných prvkov, ktoré dokážu efektívne reagovať na energetické potreby a požiadavky.

**Domáce spotrebiče a systémy:** Výraznú úlohu v rámci X2G hrá domáca technológia. Inteligentné domáce spotrebiče, ako sú chladničky, práčky, klimatizácie a ohrievače vody, môžu byť naprogramované tak, aby svoju spotrebu prispôsobili aktuálnym energetickým podmienkam, napríklad aby spotrebovali energiu v čase nadbytku a šetrili ju v čase jej nedostatku. Rovnako solárne panely a domáce batérie pre skladovanie energie sa stávajú kľúčovými komponentmi X2G, ktoré môžu dodávať alebo skladovať energiu podľa potreby.

**Priemyselné zariadenia:** Na úrovni priemyslu sa do siete X2G môžu zapojiť veľké energetické spotrebiče, ako sú čerpadlá, kompresory, chladiace systémy a mnoho ďalších. Tie môžu byť ovládané tak, aby optimalizovali svoju spotrebu energie, a tým znižovali celkovú záťaž siete v čase veľkého dopytu.

**Systémy pre skladovanie energie:** Systémy pre skladovanie energie, ako sú batérie alebo systémy na skladovanie energie vo forme vodíka, sú kľúčovou súčasťou X2G. V čase nadbytku energie môžu tieto systémy skladovať prebytočnú energiu, ktorá sa potom môže využiť v čase, keď je dopyt po energii vyšší ako jej dodávka.

**Elektrické vozidlá a infraštruktúra pre nabíjanie:** Elektrické vozidlá a súvisiaca infraštruktúra pre nabíjanie predstavujú ďalšiu dôležitú súčasť X2G. Vozidlá môžu byť nabíjané v čase nízkeho dopytu po energii a ich batérie môžu byť využité ako skladovacie jednotky, ktoré môžu dodávať energiu do siete v čase potreby.

**Iné relevantné technológie:** Okrem uvedených kategórií, existuje množstvo ďalších technológií, ktoré môžu byť súčasťou X2G, vrátane rôznych druhov energetických zariadení (napr. veterné turbíny, solárne panely), zariadení pre riadenie spotreby energie, softvérových riešení pre správu energie a ďalších.

Spoločne tieto zariadenia a technológie vytvárajú dynamickú a pružnú sieť, ktorá môže efektívne reagovať na kolísanie v dodávke a dopyte po energii. Toto poskytuje výrazný potenciál pre optimalizáciu energetických systémov a prispieva k budovaniu udržateľnejších a odolnejších energetických sietí v budúcnosti.

### IV. INTELIGENTNÁ KOMUNIKÁCIA V X2G

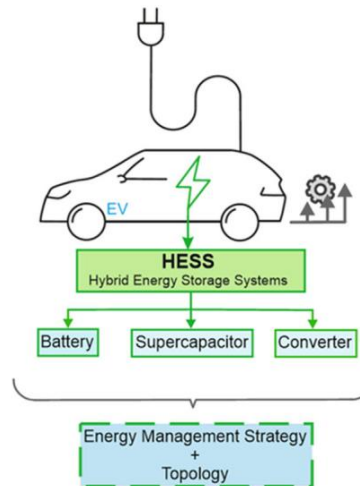
Jedným z kľúčových prvkov v rámci X2G je inteligentná komunikácia medzi zariadeniami a sieťou. Táto komunikácia umožňuje riadenie záťaže a optimalizáciu využitia energie, čo zvyšuje efektívnosť siete a prispieva k jej stabilite.

**Princípy a technológie pre komunikáciu medzi zariadeniami a sieťou:** Komunikácia v X2G je založená na princípe obojsmernej komunikácie a využíva rôzne technológie, vrátane bezdrôtových technológií ako Wi-Fi a ZigBee, ale aj káblových technológií, ako je PLC (Power Line Communication). To umožňuje výmenu informácií medzi zariadeniami a sieťou v reálnom čase, čo je nevyhnutné pre efektívne riadenie záťaže a optimalizáciu využitia energie. Napríklad inteligentný termostat v domácnosti môže komunikovať so sieťou a prispôsobiť spotrebu energie na vykurovanie alebo chladenie podľa aktuálnych energetických podmienok (obrázok 1).

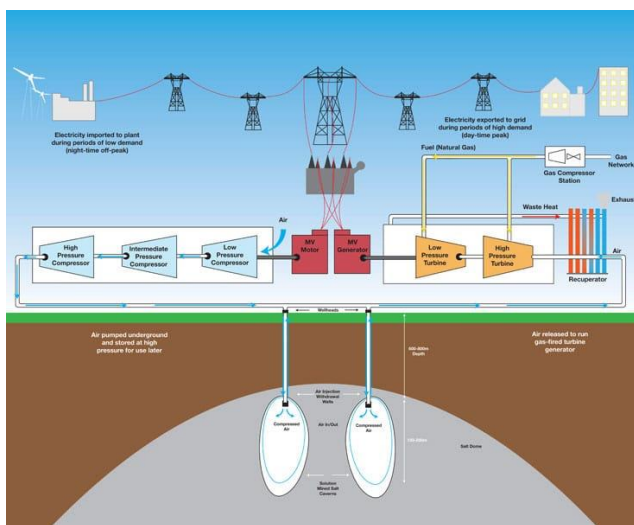


Obr. 1. Príklad zobrazenia programovateľného termostatu

**Riadenie záťaže a optimalizácia využitia energie:** Riadenie záťaže a optimalizácia využitia energie sú kľúčovými aplikáciami inteligentnej komunikácie v X2G. Napríklad v čase nízkeho dopytu po energii môžu byť elektrické vozidlá nabíjané alebo môžu byť aktivované systémy pre skladovanie energie, aby absorbovali prebytočnú energiu (obrázok 2). Naopak, v čase vysokého dopytu po energii môžu tieto systémy dodávať energiu do siete alebo môžu byť niektoré zariadenia, ako sú podružné priemyselné zariadenia, dočasne vypnuté, aby sa znížila záťaž siete (obrázok 3).



Obr. 2. Obojsmerné nabíjanie elektromobilu



Obr. 3. Systém pre odovzdávanie energie z akumulačného zariadenia do siete

Jedným z príkladov dobrej praxe je použitie X2G v oblasti elektromobility v Nemecku, kde sa infraštruktúra pre nabíjanie elektrických vozidiel inteligentne prispôbuje aktuálnym energetickým podmienkam a umožňuje tak efektívne využitie obnoviteľných zdrojov energie.



Obr. 4. Prenosná elektronabíjačka pre vozidlá v Nemecku

V X2G sa teda inteligentná komunikácia stáva kľúčovým nástrojom pre optimalizáciu využitia energie a riadenie záťaže, čo prispieva k vytvoreniu efektívnejších a udržateľnejších energetických sietí.

## V. VÝHODY A VÝZVY SÚVISIACE S X2G

X2G, ako koncept pripojenia rozmanitých zariadení do energetických sietí, prináša rad výhod, ale taktiež stretáva niekoľké výzvy. Tie sú technického, ekonomického aj regulačného charakteru, vrátane otázok bezpečnosti a ochrany údajov.

**Prínosy pre energetické siete, spotrebiteľov a životné prostredie:** X2G prináša množstvo výhod pre energetické siete, ktoré sa tým stávajú flexibilnejšie a schopné lepšie sa prispôbiť kolísaniu v dodávke a dopyte po energii. Spotrebiteľia zase môžu profitovať z optimalizácie spotreby a potenciálne nižších nákladov na energiu. Navyše, X2G podporuje integráciu obnoviteľných zdrojov energie, čo prispieva k ochrane životného prostredia a k dosahovaniu cieľov v oblasti udržateľnosti.

**Technické, ekonomické a regulačné výzvy:** Napriek mnohým výhodám, X2G sa stretáva aj s niekoľkými výzvami. Technicky sa

jedná o zložité úlohy spojené s integráciou a správou rôznych zariadení a technológií. Ekonomické výzvy sa týkajú napríklad otázok investícií do infraštruktúry a technológií X2G. Regulačne sa musia riešiť otázky týkajúce sa vlastníctva, riadenia a správy energetických sietí v kontexte X2G.

**Bezpečnosť a ochrana údajov v X2G systémoch:** Bezpečnosť je ďalšou kľúčovou otázkou v kontexte X2G. Inteligentná komunikácia medzi zariadeniami a sieťou musí byť chránená proti kybernetickým útokom, ktoré by mohli ohroziť stabilitu siete alebo prístup k citlivým údajom. Ochrana údajov je rovnako dôležitá, pretože X2G systémy zhromažďujú a spracúvajú veľké množstvo údajov o spotrebe energie, ktoré musia byť správne chránené a spracúvané v súlade so zákonom.

Prekonávanie týchto výziev vyžaduje koordinované úsilie všetkých zainteresovaných strán, vrátane vlád, regulačných orgánov, energetických spoločností a spotrebiteľov. Napriek týmto výzvam má však X2G plný potenciál, ktorý môže prispieť k transformácii našich energetických sietí a podporiť prechod na udržateľnejšiu energetickú sieť.

## VI. PRÍPADOVÉ ŠTÚDIE A APLIKÁCIE X2G

**Príklady využitia X2G v rôznych krajinách a sektoroch:** Príklady aplikácií X2G sa nachádzajú v mnohých krajinách a sektoroch. Jedným z nich je Dánsko, kde sa X2G využíva v sektore veterných elektrární. Tieto veterné elektrárne sú napojené na inteligentné siete, ktoré dokážu flexibilne reagovať na výkyvy vo veterných podmienkach a tým optimalizovať využitie vyrobenej energie. Vďaka X2G technológiám sa tak podstatne zvyšuje efektívnosť a stabilita týchto elektrární.

Ďalším príkladom je Japonsko, ktoré po jadrovej katastrofe v Fukushima začalo intenzívne investovať do obnoviteľných zdrojov energie a technológií X2G. V rámci tohto úsilia sa začali vo veľkej miere využívať domáce batériové úložiská energie a solárne panely, ktoré sú integrované do inteligentnej siete cez X2G technológie. Tieto systémy umožňujú domácnostiam nielen generovať vlastnú energiu, ale aj skladovať prebytky a prispôbovať svoju spotrebu aktuálnym energetickým podmienkam.

**Hodnotenie úspešnosti a výsledkov týchto aplikácií:** Tieto príklady ukazujú, že X2G prináša pozitívne výsledky. Dánsko a Japonsko zaznamenali značné zvýšenie efektívnosti a stability svojich energetických sietí, zatiaľ čo spotrebiteľia profitujú z nižších nákladov na energiu. Okrem toho vďaka použitiu X2G technológií môžeme vidieť významné prínosy pre životné prostredie vo forme vyššej integrácie obnoviteľných zdrojov energie a nižšej spotreby fosílnych palív.

Je dôležité zdôrazniť, že hoci sú tieto výsledky povzbudzivé, úspešnosť a výsledky aplikácií X2G sa môžu líšiť v závislosti od konkrétnych podmienok. Preto je potrebné pokračovať vo výskume a vývoji v tejto oblasti, aby sa plne pochopil potenciál a hranice X2G.

## VII. BUDÚCNOSŤ X2G

Koncept X2G má obrovský potenciál pre budúcnosť energetických systémov. Hoci sa už dnes využíva v mnohých oblastiach, jeho plný potenciál je stále len čiastočne realizovaný. V budúcnosti sa očakáva, že jeho význam a rozšírenie ešte výrazne narastú.

**Predpoklady a trendy vývoja X2G:** Hlavnými predpokladmi pre budúci vývoj X2G sú pokračujúce technologické inovácie, znižovanie cien súvisiacich technológií, ako aj zmeny v regulačnom prostredí a spotrebiteľských preferenciách. Z technologického hľadiska je

možné očakávať pokrok v oblastiach, ako je vývoj batérií, inteligentnejších sietí a algoritmov pre riadenie a optimalizáciu spotreby energie. Z ekonomického a regulačného hľadiska by mohli byť kľúčové politiky podporujúce rozvoj obnoviteľných zdrojov energie a decentralizácia energetických systémov. Spotrebiteľské preferencie sa tiež budú pravdepodobne ďalej posúvať smerom k energetickej udržateľnosti.

**X2G ako súčasť stratégií znižovania emisií a dosahovania udržateľnosti:** X2G má potenciál stať sa kľúčovou súčasťou stratégií znižovania emisií skleníkových plynov. Vďaka svojej schopnosti integrácie obnoviteľných zdrojov energie a optimalizácie spotreby môže X2G prispieť k prechodu na nízkoemisné energetické systémy. Toto je v súlade s globálnymi cieľmi v oblasti klímy a energetickej udržateľnosti. Preto je možné očakávať, že X2G bude v budúcnosti zohrávať čoraz dôležitejšiu úlohu v týchto stratégiách.

Vzhľadom na tieto predpoklady a trendy je jasné, že X2G predstavuje významný potenciál pre budúcnosť našich energetických systémov. Jeho plné využitie však bude vyžadovať pokračujúce úsilie v oblasti výskumu, vývoja a inovácií.

### VIII. ZÁVER

V rámci tohto článku sme sa pokúsili ponoriť do problematiky X2G – konceptu pripojenia rozličných zariadení do energetických sietí. Táto technológia, ktorá je stále vo vývoji, predstavuje významný potenciál pre modernú elektroenergetiku a ukazuje sa, že môže hrať kľúčovú úlohu v budúcnosti našich energetických systémov.

Preskúmali sme rôzne aspekty X2G, vrátane jeho súvislosti s modernou elektroenergetikou, typov zariadení, ktoré sa dajú pripojiť do sietí, a technológií, ktoré umožňujú inteligentnú komunikáciu medzi zariadeniami a sieťou. Zaoberali sme sa aj výhodami a výzvami, ktoré sú s X2G spojené, a predstavili sme niektoré reálne prípadové štúdie jeho aplikácií.

Ako sme zistili, X2G prináša mnohé výhody, vrátane zvýšenej efektívnosti a flexibility energetických sietí, lepšej integrácie obnoviteľných zdrojov energie a potenciálu pre znižovanie emisií skleníkových plynov. Súčasne však existujú aj výzvy, ako sú technické, ekonomické a regulačné prekážky, ako aj otázky bezpečnosti a ochrany údajov.

Pohľad do budúcnosti ukazuje, že X2G má obrovský potenciál stať sa kľúčovou súčasťou stratégií znižovania emisií a dosahovania udržateľnosti. Predpokladá sa, že technologické inovácie, zmeny v regulačnom prostredí a spotrebiteľské preferencie budú ďalej podporovať rozvoj X2G.

Zatiaľ čo sme sa pokúsili poskytnúť podrobný prehľad problematiky X2G, je dôležité zdôrazniť, že sa jedná o oblasť, ktorá je stále vo vývoji a ktorá bude pravdepodobne čeliť mnohým zmenám v budúcnosti. Ďalší výskum a experimentovanie sú potrebné na to, aby sme plne pochopili potenciál a hranice X2G. Môžeme však s istotou povedať, že X2G predstavuje fascinujúci smer vývoja, ktorý má potenciál prispieť k transformácii našich energetických systémov v smere väčšej udržateľnosti a efektívnosti.

### POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576.

### LITERATÚRA

- [1] Lemian, D.; Bode, F.: *Battery-Supercapacitor Energy Storage Systems for Electrical Vehicles: A Review*. Energies 2022, 15, 5683. <https://doi.org/10.3390/en15155683>
- [2] Honeywell: *Programmable Thermostat* [online] [cit.: 1.7.2023] Dostupné na: <https://www.honeywellstore.com/store/products/honeywell-wifi-smart-thermostat-rth9585wf1004.htm>
- [3] Ravi, S.S.; Aziz, M. *Utilization of Electric Vehicles for Vehicle-to-Grid Services: Progress and Perspectives*. Energies 2022, 15, 589. <https://doi.org/10.3390/en15020589>
- [4] Kolcun, M., Beňa, L., Mészáros, A.: *Optimalizácia prevádzky elektrizačnej sústavy*. 1. vyd., Košice: TU, 2009, 265 s, ISBN 978-80-553-0323-9.

### ADRESY AUTOROV

Doc. Ing. Dušan Medved', PhD., Dr.h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., Ing. Marek Pavlík, PhD., Ing. Jozef Király, PhD., Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, Dusan.Medved@tuke.sk, Michal.Kolcun@tuke.sk, Marek.Pavlik@tuke.sk, Jozef.Kiraly@tuke.sk