

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO  
GEN-I

Jan Založnik in Mai Praskalo

**Uporaba metod strojnega učenja za napoved gibanja cen  
posameznih urnih blokov**

Ljubljana, 2022

## 1. MOTIVACIJA

Električno energijo je v primerjavi z ostalimi energenti in dobrinami zelo zahtevno shranjevati, zato morata biti proizvodnja in poraba električne energije konstantno v ravnovesju. Tržni igralci tako izravnavajo svojo proizvodnjo in porabo na znotrajdnevni trgih električne energije, kjer se trguje elektrika za dobavo v posameznih 15 minutnih blokih do vsega nekaj minut pred začetkom dobave. V zadnjih letih se je predvsem zaradi rasti deleža proizvodnje elektrike iz obnovljivih virov, ki je zaradi odvisnosti od vremena težko napovedljiva, dejavnost na znotrajdnevni trgih močno povečala, igralci na teh trgih pa se vedno večji delež odločitev prepuščajo umetni inteligeni.

## 2. NALOGA

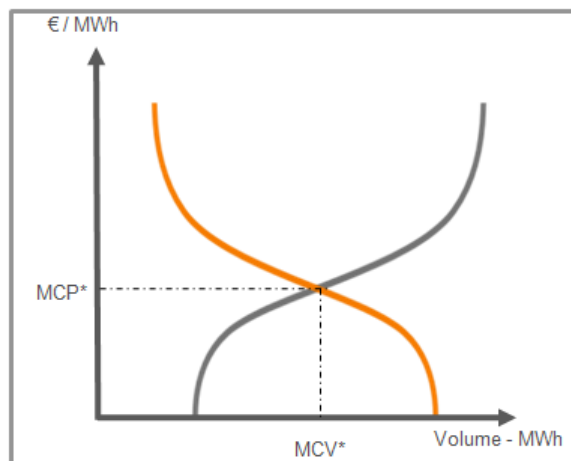
Pri nalogi bova tudi s pomočjo metod strojnega učenja napovedala gibanje cen posameznih urnih blokov. Pri tem bova uporabila pretekle podatke o gibanju cen elektrike kot tudi ostalih energentov, vremenske napovedi različnih ponudnikov, podatke o proizvodnji različnih elektrarn itd.

Najina glavna naloga je torej ustvariti program, ki bo sprejel zgodovinske podatke o vremenu, cene posameznih blokov, cene drugih energentov in bo s pomočjo teh poskušal čimbolje uganiti ceno tisti dan na Intra-Dayu in čimboljši približek za uravnoteženo ceno naslednji dan.

## ELEKTRIČNI TRG

V ekonomskem smislu je elektrika surovina, s katero je mogoče trgovati na trgu električne energije **PX** (angl. *Power Exchange*). Kot je že bilo rečeno je električno energijo zelo težko shranjevati in hkrati morata biti proizvodnja in poraba neprestano v ravnovesju. Na trgu dobimo pošteno ceno z načelom pondube in povpreševanja, kar pomeni, da proizvajalci podajo ponudbo (koliko električne energije lahko proizvedejo in za kakšno ceno), nasprotno porabniki električne energije podajo povpraševanje (koliko električne energije bodo porabili in koliko so zanj pripravljeni plačati). Tako dobimo dve krivulji in stičišče teh predstavlja ceno elektrike, kar prikazuje slika 1. V praksi se tako določi tako imenovani DAY-AHEAD in INTRA-DAY ceni. Zavedati se moramo, da so na trgu mogoče tudi negativne cene. Negativne cene so cenovni signal na veleprodajnem trgu električne energije, ki se pojavi, ko visoka nefleksibilna proizvodnja električne energije zadovolji nizko povpraševanje. Neprilagodljivih virov energije ni mogoče

hitro in stroškovno učinkovito izklopiti in znova zagnati. Prav tako je cenovno zahtevno zaustaviti obnovljive vire energije. Cene padajo z nizkim povpraševanjem in signalizirajo generatorjem na zmanjšanje proizvodnje, da se izognejo preobremenitvi omrežja. Na trgih za dan vnaprej (DAY-AHEAD) in znotraj dneva (INTRA-DAY) lahko tako cene padejo pod ničlo.



SLIKA 1. Graf ponudbe in povpreševanja

V Evropi imamo več različnih električnih trgov, največja sta Nord Pool (v 16 državah) in Epex Spot (v 13 državah), vendar Slovenija ni del nobenega od teh. Povezovanje evropskih trgov omogoča prost pretok električne energije čez meje, kar poveča konkurenčnost na trgu ter s tem dosežemo boljšo učinkovitost. S čezmejn timerovanjem torej vplivamo na socialno blaginjo vseh Evropejcev. V najini nalogi se bova osredotočila le na Nemčijo, kjer trgujejo na obeh izmed omenjenih trgov. Prav tako so bile na teh trgih izvedene vse transakcije o trgovanju, ki jih bova uporabila pri analizi in napovedovanju.

Evropska Unija se zavzema, da se bo delež obnovljivih virov do leta 2030 dvignil iz 25% na več kot 50%. Prav tako je cilj, da bo proizvedena zadostna količina energije, ko ne bo vetra in sonca. Eden izmed načinov je shranjevanje električne energije, ko veterne in sončne elektrarne pridelajo presežek.

**Podrobnejši opis DAY-AHEAD in INTRA-DAY cene.** DAY-AHEAD se upravlja prek dražbe, ki poteka enkrat na dan, vso leto. Na tej dražbi se trguje za vse ure naslednjega dne. Naročila so prijavljena s strani udeležencev na trgu, in sicer imajo udeleženci čas do 12:00 UTC, da oddajo vsa ponudbe in povpraševanja za naslednji dan. Nato se zažene algoritem. Na podlagi nakupnih naročil se vzpostavi krivulja

povpraševanja, na podlagi prodajnih naročil pa krivulja ponudbe za vsako uro naslednjega dne. Tržna klirinška cena (MCP), ki odraža ponudbo in povpraševanje, leži na presečišču obeh krivulj.

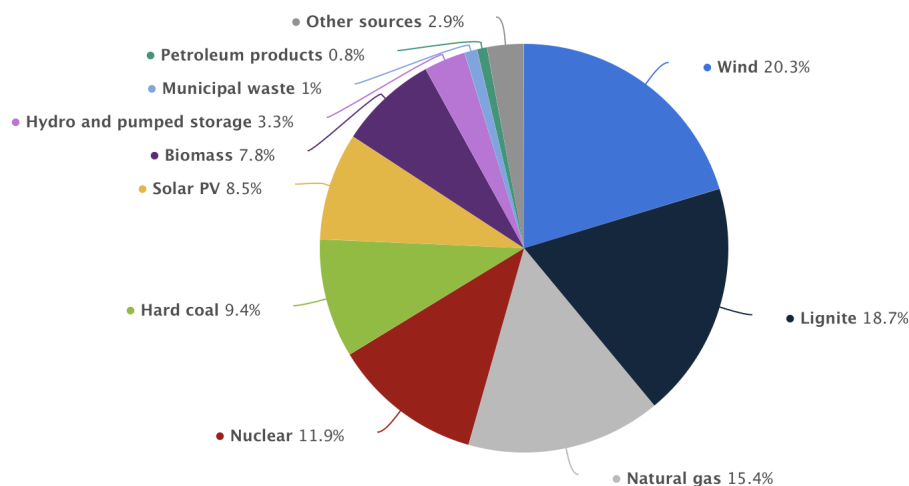
Na INTRA-DAYu udeleženci trga trgujejo neprekinjeno, 24 ur na dan, z dostavo še isti dan. Takoj, ko se ujemata naročilo za nakup in prodajo, se posel izvede. Z električno energijo je mogoče trgovati do 5 minut pred dostavo in prek urnih, polurnih ali četrtturnih pogodb. Ker to omogoča visoko stopnjo prilagodljivosti, člani uporabljajo INTRA-DAY za prilagoditve v zadnjem trenutku in za uravnoteženje svojih pozicij bližje realnemu času. Čezmejno trgovanje je bistveno pri trgovanju znotraj dneva.

## NEMČIJA

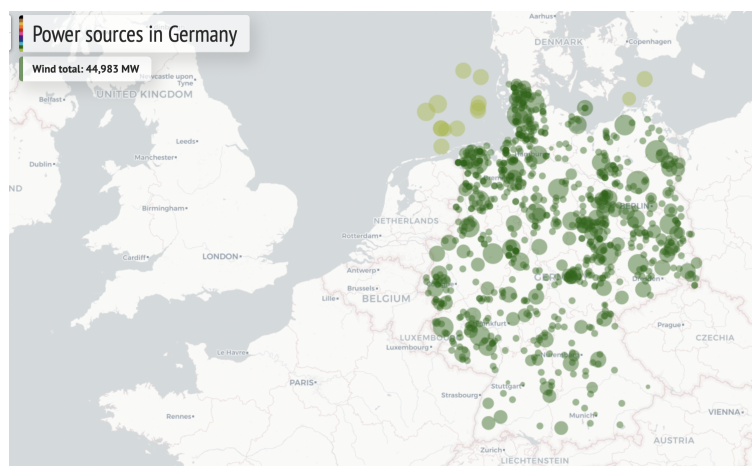
Nemčija se je zavezala, da bo do leta 2020 zmanjšala emisije toplogrednih plinov za 40 % v primerjavi iz leta 1990 in za 80–85 % do leta 2050 glede na raven iz leta 1990. Da bi dosegla tak cilj, Nemčija načrtuje preoblikovanje svojega sistema oskrbe z električno energijo v električno energijo, ki v celoti temelji na obnovljivih virih energije. Potencial za zmanjšanje emisij v elektroenergetskem sektorju je zelo velik, saj ima energetske sektor ključno funkcijo glede emisij toplogrednih plinov, saj trenutno povzroča več kot 80 % emisij v Nemčiji in znotraj tega sektorja je oskrba z električno energijo odgovorna za približno 40 % emisije CO<sub>2</sub>, povezane z energijo. Z visoko učinkovito rabo električne energije, ki v celoti temelji na obnovljivih virih energije, bo mogoče doseči raven skoraj nič emisij toplogrednih plinov. Zanimiva je tudi porazdelitev nemških električnih virov, ki je prikazana na sliki 2. Hitro se lahko opazi, da velik delež predstavljata veterna in sončna energija, ki pa sta seveda zelo odvisna od vremena.

## VREMENSKI PODATKI

Vremenske podatke bova pridobila iz Evropskega centera za srednjeročne vremenske napovedi (ECMWF). Kot sva že omenila, bo imelo vreme zaradi vedno večjega deleža obnovljivih virov vedno večji vpliv na cene in proizvodnjo elektrike. Največji delež obnovljivih virov sta v letu 2021 predstavljala veter in sončna energija, zato bova za napoved proizvedene energije uporabila veterne in sončne napovedi iz ECMWF. Da bi bila ocena čim bolj natančna bova upoštevala dejstvo, da je na severu Nemčije veliko več vetrnih elektrarn kot na jugu (Slika 3). Sončne elektrarne so porazdeljene bolj enakomerno (slika 4).



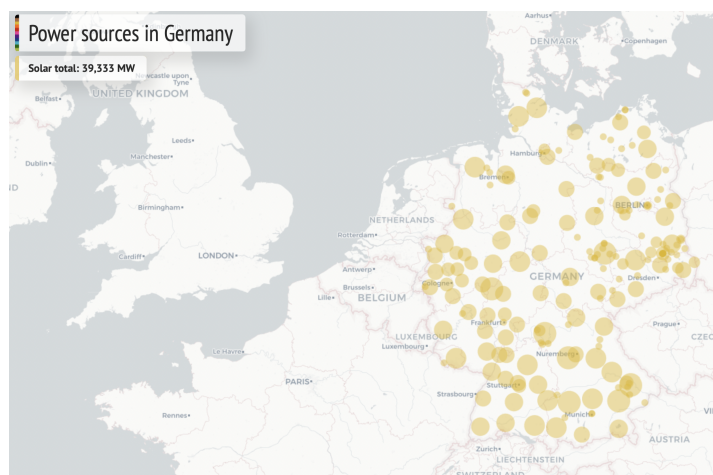
SLIKA 2. Porazdelitev nemških električnih virov v letu 2021



SLIKA 3. Graf ponudbe in povpreševanja

## PROJEKT

V nadaljevanju bova s pomočjo LSTM (ali mogoče katerega drugega) modela poskušala napovedati ceno na DAY-AHEADu za naslednji dan in tudi kakšnemu trendu bo sledila INTRA-DAY cena. Kot na vseh drugih trgih je tudi tukaj možen zaslužek s pravo strategijo. Najin cilj je s pomočjo vremenskih podatkov čimbolje napovedati gibanje cene elektrike.



SLIKA 4. Graf ponudbe in povpreševanja