

PLANIRANJE RAZVOJA PROIZVODNIH KAPACITETA

3. Vertikalno-integrirani (VI) sistemi

3. Vertikalno-integrirani sistemi

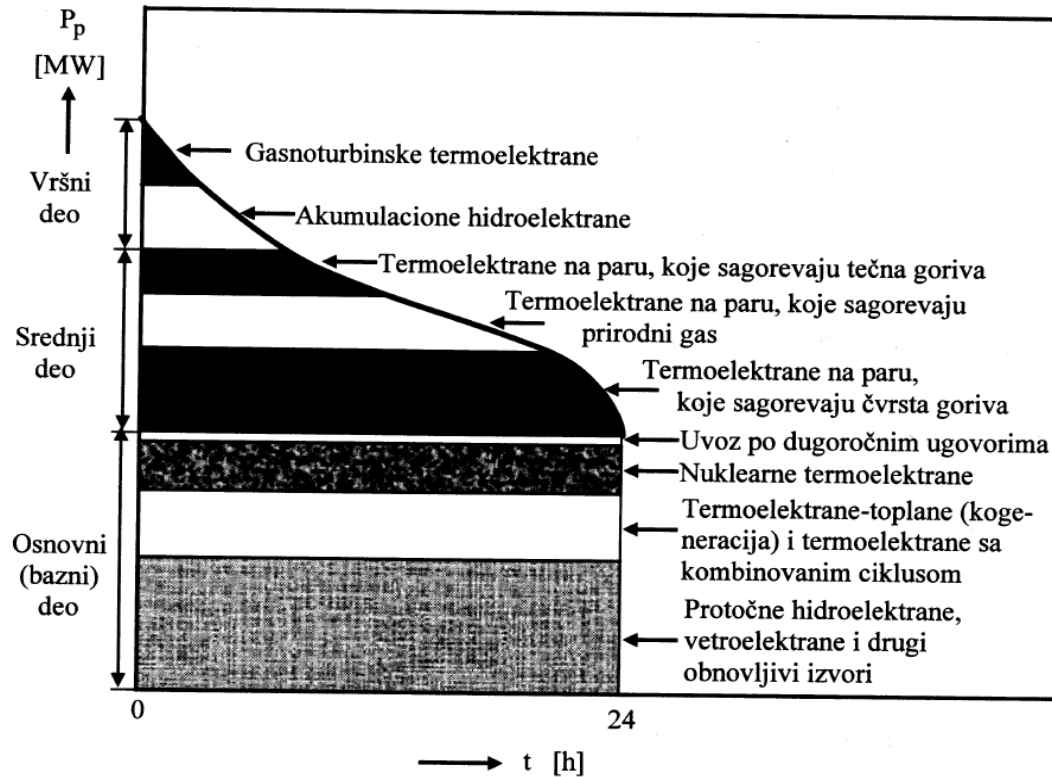
3.1. Elektroenergetski bilansi

- Elektroenergetski bilans predstavlja međusobno upoređenje zahtevane potrošnje i moguće proizvodnje el. energije i odgovarajućih snaga
- Prilikom izrade bilansa govori se o:
 - Bilansima energije (dnevni, sedmični, mesečni, godišnji) i
 - Bilansima snage (posebno maksimalnih i minimalnih)
- U procesu planiranja razvoja izvora, simulacija rada EES-a vrši se na godišnjoj bazi sa mesečnom ili sedmičnom diskretizacijom.
- Polazni osnov svakog bilansa su:
 - hronološki dijagrami opterećenja (ostvareni ili prognozirani) ili njihove krive trajanja
 - zahtevana pouzdanost,
 - neophodna rezerva
 - ostali tehno-ekonomski pokazatelji.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.1. Elektroenergetski bilansi

- Na osnovu podataka o raspoloživosti agregata i mogućnosti proizvodnje popunjava se površina ispod dijagrama opterećenja ili krive trajanja.
- Kada jedan EES ima različite tipove izvora onda popunjavanje dijagrama podleže praktičnim pravilima koja se odnose na redosled angažovanja.



3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.1. Elektroenergetski bilansi

- Ukoliko se ne raspolaže sa dovoljno proizvodnih kapaciteta i dovoljnom količinom el. energije mora se predvideti manjak
- Manjak se može pokriti uvozom, proizvodnjom iz skupih rezervnih elektrana ili redukcijom potrošnje.
- Krajni rezultat ovog postupka je dnevni plan angažovanja i proizvodnje generatora, uvoz/izvoz, redukcija.
- Plan mora zadovoljiti u svakom trenutku bilansne jednačine (1) i (2) za razmatrani dijagram (ili krivu trajanja) opterećenja.
- Postupak bilansiranja i za duže vremenske periode je sličan.
- Praksa pri planiranju izgradnje novih kapaciteta kod VI i D sistema se razlikuje.
- Kod VI sistema postoji zakonska obaveza da se kupcima obezbedi redovno snabdevanje el. energijom.
- Kod D sistema obaveza se prenosi na konkurentsko tržište.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.1. Elektroenergetski bilansi

- Bilansne jednačine (1) i (2), u zavisnosti od svrhe, mogu se zadovoljiti za snagu i energiju:
 - na generatoru,
 - na pragu elektrana,
 - na pragu prenosa,
 - na pragu distribucije ili
 - na pragu potrošnje.
- Za potrebe planiranja razvoja izvora jednačine (1) i (2) se za sve veličine (snaga, energija, troškovi) posmatraju na pragu elektrane.
- U tu svrhu rade se mesečni i godišnji bilansi (godišnji se dobijaju kao sinteza 12 mesečnih bilansa)
- Ovi bilansi se rade za sve godine perioda planiranja ($t=1, 2, \dots, T$).
- Oni su baza za dalje planiranje izgradnje novih kapaciteta.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.1. Elektroenergetski bilansi

- O veličinama dodatnih kapaciteta ne odlučuje se samo na bazi bilansa već i na osnovu pouzdanosti proizvodno-potrošačkog podsistema EES-a.
- Zadovoljenje relacija (1) i (2) je samo potreban uslov.
- **Zadovoljenje ciljnog nivoa pouzdanosti, uz minimalne eksploatacione troškove sistema, glavni su faktori odlučivanja.**

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

- Termini “pouzdanost” i “rizik” su tesno vezani.
- Veći rizik znači manja pouzdanost i obratno.
- U osnovi oba termina je probabilističko ili stohastičko ponašanje EES-a, zasnovano na verovatnoći pojave nekog događaja.
- Tipični primeri stohastičkog ponašanja EES-a su:
 - Kvarovi u sistemu,
 - Potrošnja je neizvesna (prognoza nije 100% tačna),
 - Uvozi/izvozi zavise od karakteristika tržišta,
 - Proizvodnja HE i VE zavisi od hidrologije i vetra.
- Može se reći da je rizik kombinacija stanja i posledica tog stanja
- Ocena rizika “*Risk Assessment*” je vrlo važan korak u planiranju razvoja i eksploataciji EES-a.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

- Ocena rizika se sprovodi kroz sledeća tri zadatka:
 - Izračunavanje rizika koristeći indekse pouzdanosti
 - Određivanje mera za smanjenje rizika ili upravljanje rizikom
 - Potvrđivanje prihvatljivih nivoa rizika
- Problem ocene rizika je posebno važan za D sisteme.
- Novo okruženje tera učesnike da planiraju razvoj i eksploatišu sistem što bliže njegovim eksploatacionim granicama.
- Ovakav način rada ima negativan uticaj na pouzdanost rada EES-a jer sistem radi sa smanjenim nivoom rezervi.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

- Izračunavanje rizika u EES-u se sprovodi kroz sledeće korake:
 - Određivanje modela pouzdanosti komponenata sistema
 - Izbor relevantnih stanja sistema i proračun verovatnoća njihovog pojavljivanja
 - Proračun posledica izabranog stanja sistema
 - Proračun indeksa rizika
- Prilikom određivanja modela komponenata sistema pretpostavlja se da se kvarovi komponenata mogu definisati kao:
 - Planirani (remonti)
 - Neplanirani događaji (prinudni ispadi)
- Za izbor relevantnih stanja sistema i proračun verovatnoće njihovih pojavljivanja postoje u suštini dva metoda:
 - Prebrojavanje stanja
 - Monte Karlo simulacija - MCS (metod selekcije uzoraka)

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

- Proračun posledica pojave izabranih stanja sistema sprovodi se:
 - Proverom bilansa snaga
 - Identifikacijom konektivnosti mreže
 - Proračunom (optimalnih) tokova snaga
 - Ocenom tranzijentne i naponske stabilnosti i drugim analizama
- Proračuni ideksa rizika koji su od interesa najčešće se baziraju na očekivanoj vrednosti karakteristične slučajne promenljive.
- Na primer to može da bude:
 - Očekivani broj dana u godini sa deficitom vršne snage ili
 - Očekivana godišnja neisporučena el. energija

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

3.2.1. Metod prebrojavanja stanja

- Ovaj metod se zasniva na verovatnoći pojave određenog stanja sistema (oznaka s) koja se može prikazati izrazom:

$$\rho_s = \prod_{i=1}^{N-N_{rasp}} q_i \prod_{i=1}^{N_{rasp}} p_i \quad (3)$$

gde je:

N - ukupan broj komponenata u sistemu (može biti raspoloživa ili neraspoločiva)

N_{rasp} - broj komponenata u stanju raspoloživosti

$N - N_{rasp}$ - broj komponenata u stanju neraspoločivosti (stanje ispada)

p_i - verovatnoća pojave stanja raspoloživosti i -te komponente

q_i - verovatnoća pojave stanja neraspoločivosti i -te komponente

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

3.2.1. Metod prebrojavanja stanja

- Neraspoloživost (FOR – "*Forced Outage Rate*"), određena intenzitetom prinudnih ispada neke komponente izračunava se kao:

$$q_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} = \frac{r_i}{r_i + m_i} = \frac{r_i}{T_i} = \frac{f_i}{\mu_i} \quad (4)$$

- Dok se raspoloživost računa kao:

$$p_i = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} = \frac{m_i}{r_i + m_i} = \frac{m_i}{T_i} = \frac{f_i}{\lambda_i} \quad (5)$$

gde je:

λ_i - intenzitet kvarova i -te komponente [kvarova/god]

μ_i - intenzitet obnavljanja i -te komponente [obnavljanja/god]

$r_i = 1/\mu_i$ - srednje vreme trajanja kvarova (srednje vreme popravke) [god]

$m_i = 1/\lambda_i$ - srednje vreme do kvara (srednje vreme trajanja ispravnog rada) [god]

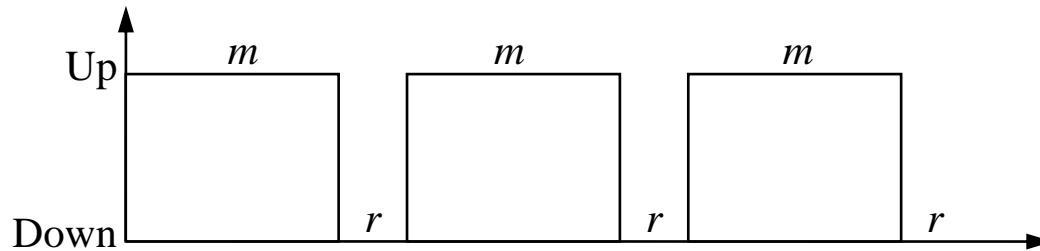
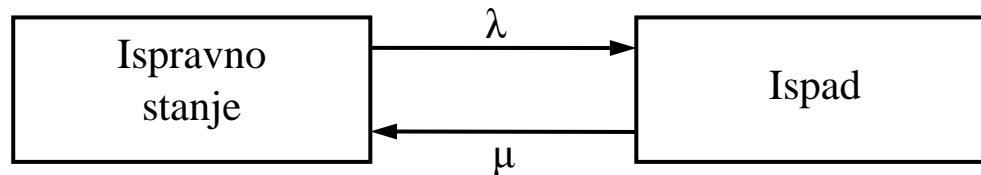
$T_i = r_i + m_i$ - srednje vreme između dva ispada i -te komponente [god]

$f_i = 1/T_i$ - srednja učestanost ispada [ispada/god]

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

3.2.1. Metod prebrojavanja stanja

- Ilustracije ovih veličina date su na slikama:



- Ako su sve komponente u ispravnom stanju onda je verovatnoća pojave tog stanja:

$$\rho_s = \prod_{i=1}^N p_i$$

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

3.2.1. Metod prebrojavanja stanja

- Za metod prebrojavanja stanja mogu se dati generalni zaključci:
 - Analizirana stanja su međusobno nezavisna (analiziraju se stanja prelaska iz normalnog stanja u stanje jednostrukog ispada)
 - U sistemima sa velikim brojem komponenata ovaj metod postaje “dimenziono eksplozivan”. Broj stanja raste eksponencijalno sa brojem komponenata. Praksa je da se analiziraju samo jednostruki ispadi. Verovatnoća višestrukih ispada je mala.
 - Oslabljena stanja sistema se posmatraju kao stanja neraspoloživosti.
 - Hronološki vremenski zavisni događaji ne mogu se modelovati tehnikom prebrojavanja stanja.
 - U poređenju sa MCS, metod prebrojavanja stanja je efikasniji u slučaju sistema sa malim brojem komponenata i/ili niskom verovatnoćom pojedinačnih ispada komponenata.

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

3.2.2. Monte Carlo metod (Metod selekcije uzoraka)

- Zbog prednosti ovaj metod se može efikasno koristiti u analizi indeksa rizika EES-a, a samim tim i za planiranje razvoja proizvodnih kapaciteta.
- **Ovaj pristup se zasniva na činjenici da je stanje sistema kombinacija stanja svih komponenata**
- Stanje svake komponente dobija se na osnovu verovatnoće.
- Svaka komponenta sistema modeluje se uniformnom distribucijom u opsegu verovatnoće $[0; 1]$.
- Pretpostavlja se da svaka komponenta ima dva nezavisna stanja:
 - Raspoloživost (ispravan rad)
 - Neraspoloživost (Ispad)
- Ovo znači ako se za k -to stanje nekog elementa (s_k) sa MCS izabere broj r_k sa uniformne distribucije u opsegu verovatnoće $[0; 1]$ ima se:

$$s_k = \begin{cases} 0 \text{ (ispravan rad)} & \text{za } r_k > q_k \\ 1 \text{ (ispad)} & \text{za } 0 \leq r_k \leq q_k \end{cases} \quad (6)$$

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

3.2.2. Monte Carlo metod (Metod selekcije uzoraka)

- Za sistem koji ima N komponenata, stanje čitavog EES-a može se prikazati N -dimenzionalnim vektorom stanja.
- Ako je broj izabranih slučajnih uzoraka u sistemu (N_{MCS}) dovoljno veliki onda se broj pojavljivanja s -tog stanja u ukupnom slučajnom uzorku u sistemu može koristiti kao procena verovatnoće pojave tog s -tog stanja:

$$\rho_s = \frac{D_s}{N_{MCS}} \quad (7)$$

gde je D_s ukupan broj pojavljivanja s -tog stanja u ukupnom slučajnom uzorku N_{MCS}

- Verovatnoća pojave pojedinih stanja sistema (ρ_s) dalje se upotrebljava za analizu pokazatelja pouzdanosti sistema.
- Ključna razlika ove dve metode je ta što kod prve metode koriste sva moguća stanja, dok se kod MCS bira samo određen broj mogućih stanja.

3.2. Pouzdanost i rizik u dugoročnom planiranju

3.2.2. Monte Carlo metod (Metod selekcije uzoraka)

- Kod primene MCS neophodno je imati u vidu sledeće napomene:
 - Prilikom uzimanja slučajnih uzoraka moraju se poštovati tri osnovna principa: uniformnost, nezavisnost i veličina uzoraka.
 - Pošto MCS ne pokriva sva moguća stanja mora se usvojiti mera poverenja u dobijeno rešenje. Princip je što se uzima veći broj uzoraka, poverenje u dobijeno rešenje je veće.
 - Na bazi usvojene mere poverenja usvaja se i kriterijum konvergencije u uzimanju slučajnih uzoraka. Obično se primenjuje kriterijum varijanse nekog od indeksa pouzdanosti (npr. LOLP indeks). Drugi pristup je da se unapred definiše broj slučajnih uzoraka koji će se obraditi.
 - MCS se može primeniti i na uzorke drugih parametara koji određuju indekse pouzdanosti (npr. nivo opterećenja, hidrološki parametri, i sl.)
 - MCS se preporučuje kao pogodnija metoda kada se ima sistem sa velikim brojem stanja i relativno velikim nivoom verovatnoće ispada.
 - MCS se ne može primeniti direktno na hronološki vremensko zavisne događaje (npr. analiza dijagrama opterećenja) ali postoje modifikacije koje to omogućavaju.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

- Analiza pouzdanosti proizvodnog i potrošačkog podsistema ima zadatak da odredi meru pouzdanosti napajanja potrošača.
- Analiziraće se samo pouzdanost proizvodnog sistema.
- Od primarnog interesa je da se utvrdi snaga proizvodnog podsistema koja će obezbediti kvaliteteno napajanje potrošača.
- Konvencionalna relativna mera tog kvaliteta je rezerva generatorskih (proizvodnih) kapaciteta ("*Generation Reserve Margin*") koja se definiše u odnosu na vršno opterećenje kao:

$$R_r = \frac{(\text{Generatorska snaga u pogonu}) - (\text{Vršno opterećenje})}{(\text{Vršno opterećenje})} \cdot 100 \quad (8)$$

- Može se definisati i u odnosu na snagu generatora u pogonu ("*Generation Capacity Margin*") kao:

$$R_c = \frac{(\text{Generatorska snaga u pogonu}) - (\text{Vršno opterećenje})}{(\text{Generatorska snaga u pogonu})} \cdot 100 \quad (9)$$

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

- Između veličina R_r i R_c postoji veza:

$$R_r[\%] = \frac{(\text{Generatorska snaga u pogonu})}{(\text{Vršno opterećenje})} \cdot R_c[\%] = \rho_M \cdot R_c \quad (10)$$

pri čemu:

$$\rho_M = \frac{(\text{Generatorska snaga u pogonu})}{(\text{Vršno opterećenje})} [\text{r.j.}] \quad (11)$$

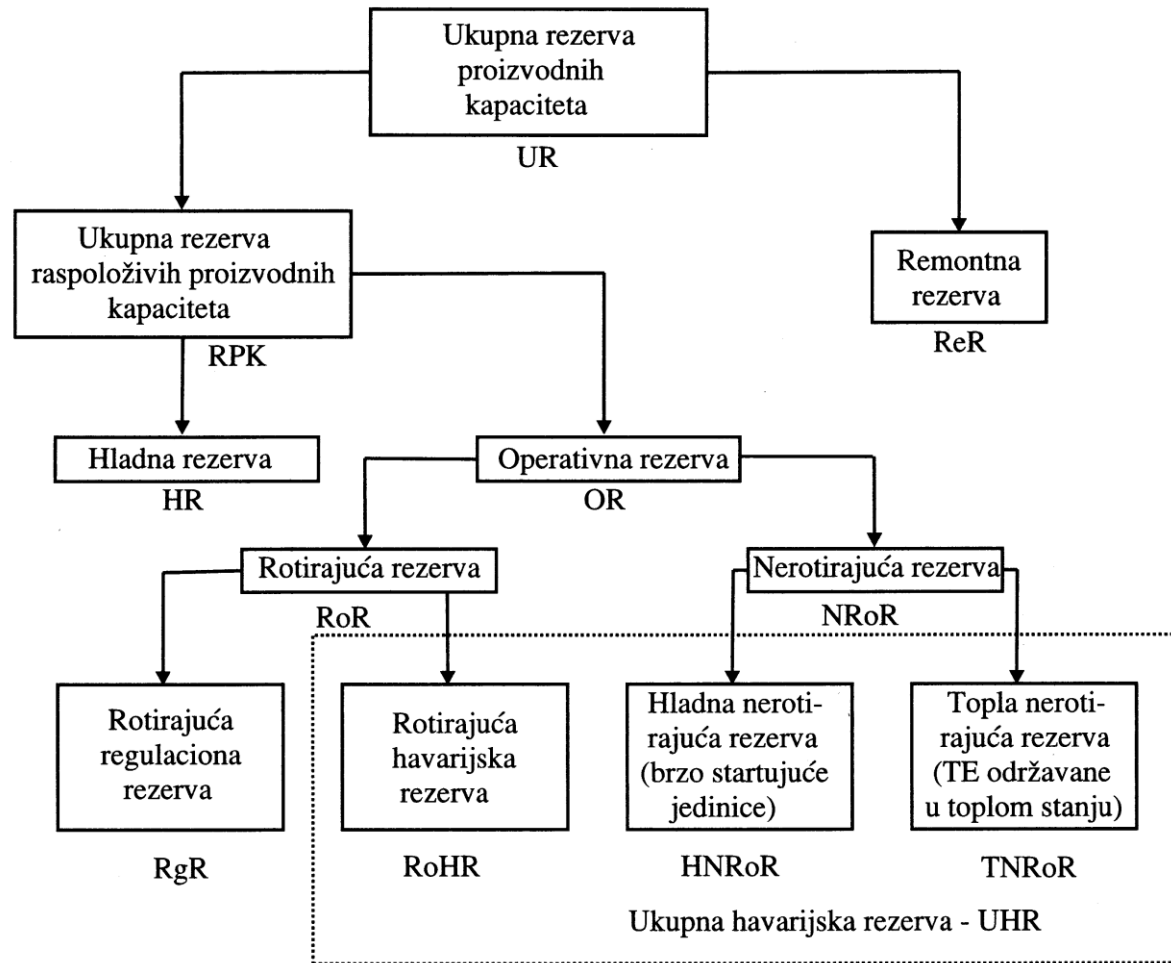
predstavlja faktor rezerve sistema pri vršnom opterećenju u [r.j.]

- Rezerva gen. kapaciteta neophodna je radi pokrivanja deficita usled:**
 - Ispada proizvodnih kapaciteta u EES-u
 - Grešaka u prognozi potrošnje (opterećenja)
 - Nedovoljne pouzdanosti susednih EES-ova pri radu u interkonekciji
 - Potencijalnih ispada prenosnih kapaciteta
 - Zakašnjenja planiranog ulaska u pogon novih generatorskih kapaciteta

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsystema

- Različiti tipovi rezervi dati su na slici:



3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

- Rezerva se određuje na više načina.
- U sistemu sa dominantnim udelom TE to se čini propisivanjem nekog iskustveno opravdanog procenta generatorske snage iznad godišnjeg vršnog opterećenja, koji se mora obezbediti u svakoj razmatranoj godini.
- Taj procenat je najčešće u opsegu 15-25%.
- U slučaju EES-a sa velikim udelom obnovljivih izvora (naročito VE) ovaj procenat može biti i veći.
- **Mane ovakvog determinističkog načina je da je usvojena rezerva neosetljiva na intenzitet prinudnih ispada, veličine proizvodnih agregata i karakteristike potrošača.**
- Ovaj način ne daje pravi odgovor na pitanje koliki generatorski kapaciteti su stvarno neophodni da se u svakom trenutku adekvatno zadovolje zahtevi potrošača.
- U EES-u sa velikim udelom HE i drugih obnovljivih izvora (VE, SE, ...) mora se voditi računa ne samo o rezervi snage već i o rezervi energije.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

- Drugi metod je takođe deterministički i bazira se na veličini rezerve jednake jednostrukom ispadu najveće moguće raspoložive generatorske snage (P_{grM}).
- Ovoj snazi se dodaje neka konstantna vrednost (P_0) koja je nezavisna od veličine te najveće moguće generatorske jedinice u sistemu.
- **Prema tome veličina rezerve je $P_{rez} = P_{grM} + P_0$.**
- Na ovaj način se uvažava efekat najkritičnijeg jednostrukog ispada generatorske snage u EES-u, ali se ne vodi računa o intenzitetima prinudnih ispada.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

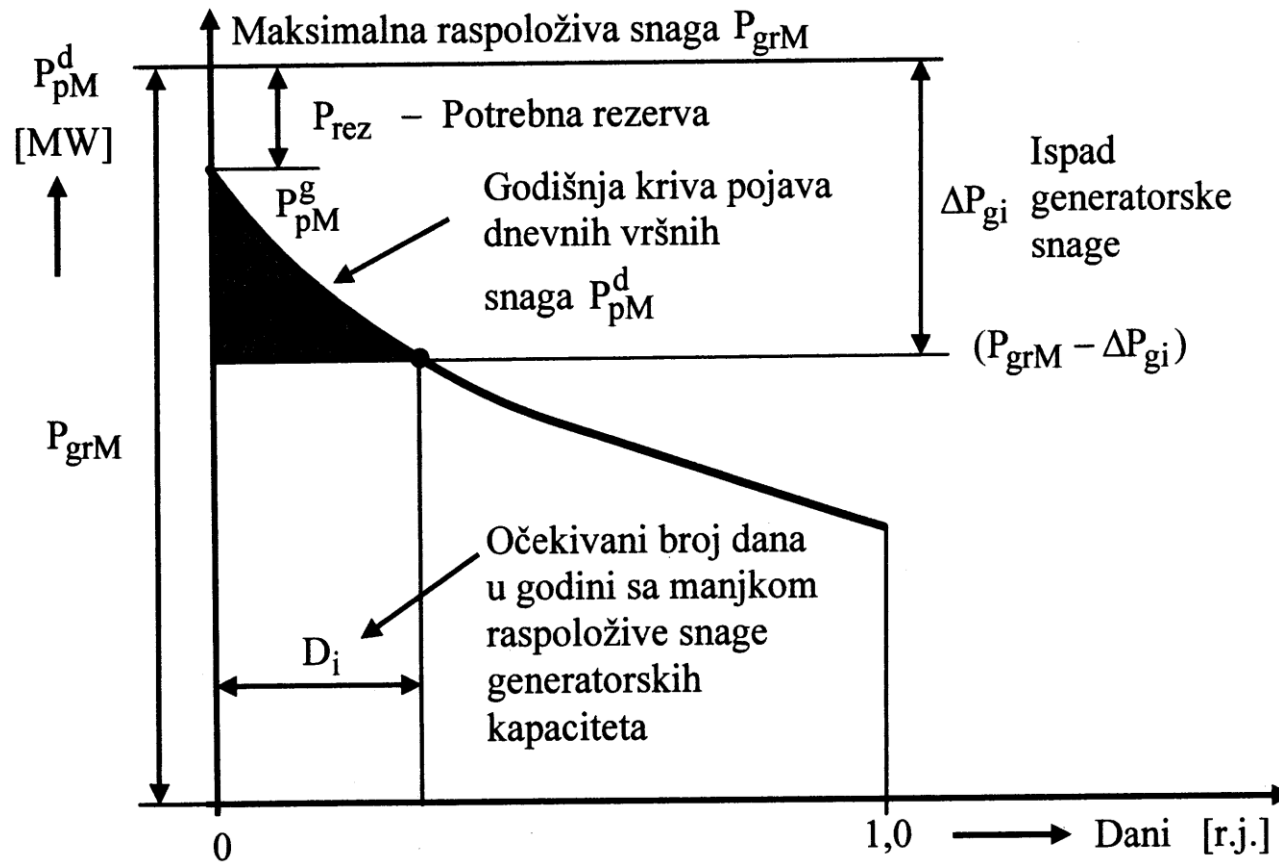
3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

- Za razliku od prva dva, treći metod za određivanje rezerve (u sistemima sa dominantim udelom TE) je probabilistički.
- Ovaj metod se zasniva na razmatranju verovatnoće simultanog ispada proizvodnih agregata u vreme pojave dnevnih maksimuma opterećenja EES-a.
- Na osnovu njih se određuje broj dana u godini u kojima se očekuje manjak generatorske snage, neophodan da pokrije potrebe potrošača.
- Ovo se karakteriše LOLP indeksom.
- LOLP indeks se naziva indeks gubitka opterećenja (LOLP – “*Loss of Load Probability*”)

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podсистema

- LOLP indeks je ilustrovan na slici



3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

- Na slici su prikazane
 - Godišnja kriva verovatnoće pojave dnevnih vršnih opterećenja ili kriva trajanja dnevnih vršnih opterećenja (P_{pM}^d)
 - Maksimalna raspoloživa snaga generatora sistema (P_{grM})
 - Potrebna rezerva (P_{rez})
 - Godišnji vrh potrošnje (P_{pM}^g) i
 - Ispad generatorske snage (ΔP_{gi})
- Očekivani broj dana u godini (D_i) u kojima se pojavljuje nedostatak snage usled ispada generatorske snage (ΔP_{gi}) dobija se u preseku krive opterećenja (P_{pM}^d) i ordinate ($P_{grM} - \Delta P_{gi}$).
- Ovaj očekivani broj dana sa manjkom generatorske snage (D_i) može se umanjiti:
 - povećanjem zahtevane rezerve (P_{rez}) ili
 - povećanjem maksimalne raspoložive snage generatora EES-a (P_{grM}).

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

- LOLP indeks se sastoji iz dva segmenta u kojima je neraspoloživost generatorskih kapaciteta okarakterisana intenzitetom:
 - Prinudnih ispada (FOR – “*Forced Outage Rate*”) i
 - Planskih ispada (SOR – “*Scheduled Outage Rate*”).
- Efekat slučajnih (prinudnih) ispada procenjuje se probabilistički, a planskih deterministički.
- Tri opisana metoda za određivanje rezerve proizvodnih kapaciteta u sistemima sa dominantnim udelom TE koriste se za procenu potrebne dodatne generatorske snage koja treba da pokrije rastuće potrebe EES-a za snagom i energijom.
- Najčešće se koristi treća metoda (LOLP indeks).

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

3.3.1. LOLP indeks pouzdanosti

- Proizvodni agregati se mogu modelovati kao elementi sa dva stanja: raspoloživ (u pogonu) i neraspoločiv (u kvaru), sa određenim brojem mogućih prelaza iz jednog u drugo stanje.
- Broj mogućih prelaza is stanja raspoloživosti u stanje neraspoločivosti određen je intenzitetom prinudnih ispada (λ).
- Broj mogućih prelaza is stanja neraspoločivosti u stanje raspoloživosti određen je intenzitetom obnavljanja (μ).
- Za proračun LOLP indeksa pouzdanosti koriste se osnovni podaci o:
 - snagama proizvodnih kapaciteta,
 - intenzitetima prinudnih ispada,
 - dnevnom vršnom opterećenju EES-a.

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

3.3.1. LOLP indeks pouzdanosti

- Pod pretpostavkom da se koristi metod prebrojavanja stanja godišnji LOLP indeks predstavlja proizvod zbirne verovatnoće deficita generatorskih kapaciteta $\rho(\Delta P_g)$ i ukupnog očekivanog broja dana u godini (D) sa manjkom generatorskih kapaciteta (ΔP_g).
- Relacija je:

$$LOLP^g = \rho(\Delta P_g) \cdot D = \sum_{i=1}^{N_g} \rho(\Delta P_{gi}) \cdot D_i \text{ [dan/god] ili [r.j./god]} \quad (12)$$

gde je:

N_g - broj mogućih kombinacija stanja

D_i - očekivani broj dana u godini sa manjkom raspoložive snage

$\rho(\Delta P_{gi})$ - verovatnoća pojave deficita generatorske snage (ΔP_{gi}); računa se po pravilima izračunavanja verovatnoća.

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

3.3.1. LOLP indeks pouzdanosti

- Ilustracija je data u tabeli:

Stanje <i>i</i>	Status proiz. agregata			Ispala snaga ΔP_{gi}	Verovatnoća pojave <i>i</i> -tog stanja
	A	B	C		
1	+	+	+	0	$(1-q_a)(1-q_b)(1-q_c)$
2	+	+	-	P_{grC}	$(1-q_a)(1-q_b)q_c$
3	+	-	+	P_{grB}	$(1-q_a)q_b(1-q_c)$
4	-	+	+	P_{grA}	$q_a(1-q_b)(1-q_c)$
5	+	-	-	$P_{grB} + P_{grC}$	$(1-q_a)q_bq_c$
6	-	+	-	$P_{grA} + P_{grC}$	$q_a(1-q_b)q_c$
7	-	-	+	$P_{grA} + P_{grB}$	$q_aq_b(1-q_c)$
8	-	-	-	$P_{grA} + P_{grB} + P_{grC}$	$q_aq_bq_c$
+ Agregat u pogonu $\rho = p = 1-q$ - Agregat van pogona $\rho = q$					Zbir 1,00

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

3.3.1. LOLP indeks pouzdanosti

- Broj dana (D_i) za određeni deficit snage (ΔP_{gi}), očitava se sa godišnje krive trajanja dnevnih vršnih opterećenja (slika).
- D_i se obično izražava u [dan/god] ili [r.j./god] gde su r.j. date prema broju dana godini (365 dana).
- Na osnovu broja dana (D_i) i verovatnoće pojave deficita $\rho(\Delta P_{gi})$ izračunava se godišnji LOLP indeks preko izraza (12).
- Na osnovu dobijene vrednosti donosi se zaključak o pouzdanosti sistema.
- **Obično se unapred zada neka ciljna vrednost (na primer 1 dan/god ili čak 0.2 dan/god) pa se proverom stvarne vrednosti utvrđuje da li je on sa predloženim planom razvoja postignut ili nije.**
- Ako nije, moraju se u plan razvoja sistema dodavati novi proizvodni kapaciteti dok se ne ostvare željene performanse pouzdanosti EES-a.

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

3.3.2. LOEP indeks pouzdanosti

- Godišnji LOLP indeks na bazi dnevnih vršnih snaga daje samo očekivani broj dana (ili sati) pojave deficita generatorske snage u godini.
- Međutim, on ne daje nikakvu informaciju o trajanju tih deficita i neisporučene električne energije.
- **Da se nađe mera efekta deficita snage na gubitak energije koristi se LOEP indeks (LOEP – “Loss of Energy Probability”).**
- LOEP indeks na godišnjem nivou se računa kao:

$$LOEP^g = \rho \cdot LOE = \sum_{i=1}^{N_g} \rho_i \cdot LOE_i \text{ [r.j./god]} \quad (13)$$

gde je ρ_i verovatnoća ispada generatorskih kapaciteta koji dovodi do očekivane neisporučene energije (LOE)

- Za proračun godišnjeg LOEP indeksa treba sprovesti proračun očekivane neisporučene el. energije za svaki od 8760 sati u godini. Zbir tih vrednosti daće ukupnu očekivanu godišnju neisporučenu el. energiju (LOE).

3.3. Pouzdanost proizvodnog i potrošačkog podsistema

3.3.3. Proračun LOLP i LOEP indeksa u MCS

- Može se pretpostaviti da svaka komponenta ima dva nezavisna stanja (ispravan rad i ispad). Tada za k -to stanje nekog elementa (s_k) važi izraz (6):

$$s_k = \begin{cases} 0 \text{ (ispravan rad)} & \text{za } r_k > q_k \\ 1 \text{ (ispad)} & \text{za } 0 \leq r_k \leq q_k \end{cases} \quad (6)$$

- Ako se pretpostavi da na ukupnu pouzdanost ne utiče pouzdanost potrošnje, već samo pouzdanost proizvodnje, očekivana vrednost deficita snage proizvodnje (LOL – “Loss of Load”) k -tog uzorka se definiše kao:

$$LOL_k = \max(0, P_{pM}^d - \sum_{i=1}^N P_{grik}) \quad (14)$$

- Raspoloživa snaga i -tog proiz. kapaciteta u k -tom uzorku računa se kao:

$$P_{grik} = \begin{cases} 0 & \text{za } r_{gik} \leq q_i \\ P_{gri} & \text{za } r_{gik} > q_i \end{cases} \quad (15)$$

gde je:

r_{gik} - slučajno izabran broj iz intervala $[0; 1]$ za i -ti agregat u k -tom uzorku

q_i - neraspoloživost i -tog agregata.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.4. Izbor strukture proizvodnih kapaciteta i njihove jedinične snage

- Preliminarni izbor elektrana – kandidata za izgradnju zavisi od raspoloživih prirodnih ili dostupnih primarnih energetske resursa.
- Prioriteti su hidropotencijali i obnovljivi resursi (vetar, sunce, biomasa, itd.)
- Kada se ima izbor između nekoliko tehnološki različitih opcija treba najpre da se prouče individualne karakteristike pojedinih kandidata.
- Nakon toga, shodno bilansnim potrebama treba pristupiti formiranju različitih scenarija razvoja.
- Mora se voditi računa da svaki scenario zadovoljava bilansne potrebe za određeni horizont, shodno relacijama (1) i (2).
- Pored toga moraju se u obzir uzeti i drugi uticajni faktori za odlučivanje kao što su:
 - Uklapanje u postojeći sistem,
 - Troškovi izgradnje i eksploatacije
 - Ekološko prilagođenje
 - Tehnološki nivo opreme

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.4. Izbor strukture proizvodnih kapaciteta i njihove jedinične snage

- Za Srbiju se može reći da su do sada iskorišćeni svi najrentabilniji raspoloživi hidropotencijali. Delimično su neiskorišćeni vodotoci Drine, Morave, Ibra i Lima.
- Izgradnja novih kapaciteta će se u velikoj meri bazirati na TE, mada je tu prisutan problem Kosova gde se nalaze velike rezerve uglja.
- Treba računati i na potencijale vetra, sunca i biomase.
- **Moguća je izgradnja i NE ali država je donela moratorijum na izgradnju NE.**
- Znači, energetska budućnost će se zasnivati na preostalim hidropotencijalima i TE na bazi lignita iz kolubarskog i kostolačkog bazena, kao i na bazi uvoznog prirodnog gasa.
- Instalirana snaga i veličina hidroagregata zavise od prirodnih hidroloških uslova na lokacijama izgradnje.
- S druge strane, izbor instalirane snage i jedinične snage agregata u TE nije sasvim slobodan i baziran samo na ekonomiji.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.4. Izbor strukture proizvodnih kapaciteta i njihove jedinične snage

- Postoje ograničenja usled zagađenja tla, vode i vazduha, emisije štetnih gasova, zagrevanja vode koja se koristi za hlađenje. Postoje i konstrukciona, sigurnosna i pogonska ograničenja.
- Najznačajnija ograničenja su:
 - Na jednoj lokaciji instalisana snaga TE na uglj ili tečno gorivo iz ekoloških razloga ne sme da bude veća od 2400 MW.
 - Instalisana snaga najvećeg agregata u individualnom sistemu, iz sigurnosnih razloga se ograničava na 6-8% od prognoziranog vršnog opterećenja (u godini kada se planira njegov ulazak u pogon)
 - Velike jedinične snage zahtevaju i veću rezervu koja se izračunava preko studija pouzdanosti i rizika. Jedna od empirijskih formula je:

$$P_{rez} = P_{gM} + b \cdot P_{pM}^g \geq 0.12 P_{pM}^g \text{ [MW]} \quad (16)$$

gde je:

P_{gM} - instalisana snaga najvećeg agregata u EES-u

P_{pM}^g - vršna snaga EES-a u godini ulaska u pogon nove jedinice

b - prigodno izabran koeficijent

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.4. Izbor strukture proizvodnih kapaciteta i njihove jedinične snage

- S druge strane, za optimalnu veličinu jedinične snage najvećeg agregata, koji će se dodati u EES t -te godine u literaturi postoji formula:

$$(P_{g1}^t)^{opt} = P_{pM}^t \cdot \frac{\beta}{\gamma} \cdot \frac{1-\alpha}{\alpha} [\text{MW}] \quad (17)$$

gde su:

t - godina za koju se vrši procena optimalne snage novog agregata

P_{pM}^t - vršna snaga EES-a u t -toj godini [MW]

α - koeficijent osetljivosti relativnih investicionih troškova u agregate istog tipa i različite snage [r.j.]

$\beta = \frac{P_{pM}^{t+1}}{P_{pM}^t}$ - relativni porast vršnog opterećenja sistema između t -te i $(t+1)$ -te godine

$\gamma = \frac{P_{rez}^t}{P_{g1}^t}$ - odnos između aktuelne veličine planske rezerve i nazivne snage najvećeg agregata u t -toj godini

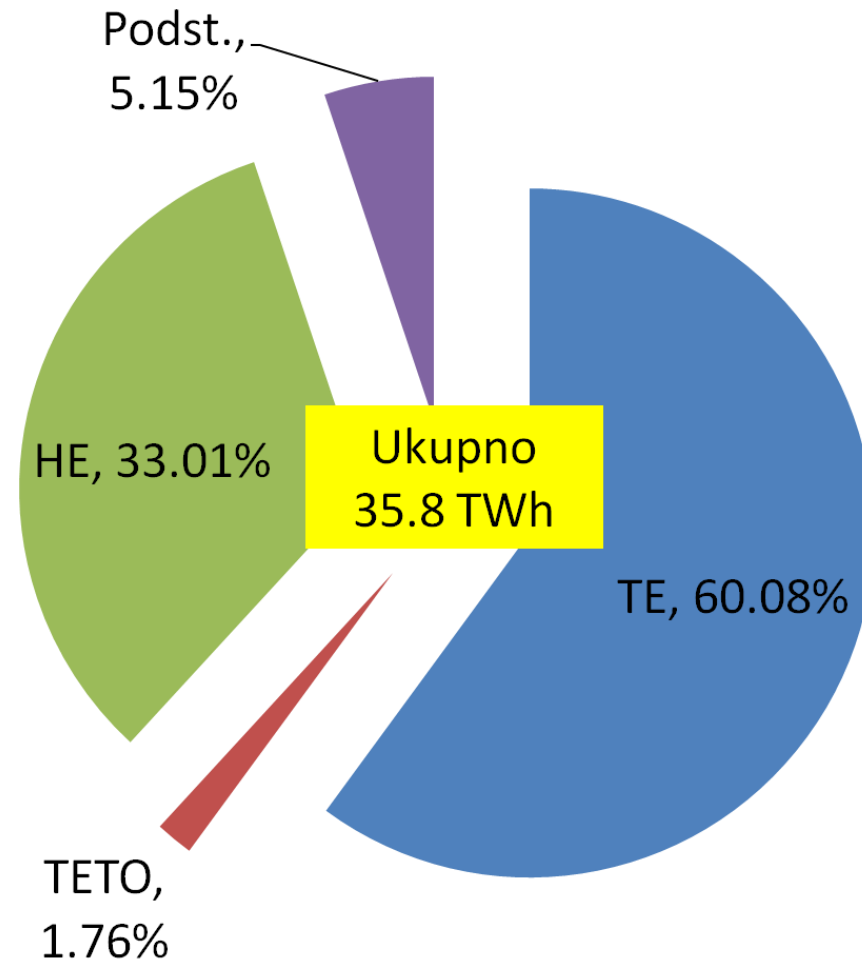
- Potrebno je voditi računa da dobijene vrednosti zadovolje ograničenja.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.5. Izbor strukture proizvodnih kapaciteta i scenarija razvoja

- Kada se ima izbor između više tehnološki različitih tipova elektrana prvo treba proučiti individualne karakteristike različitih tipova proizvodnih kapaciteta.
- Posle toga mogu se formirati različita scenarija razvoja.
- **Pored bilansa mora se voditi računa o drugim uticajnim faktorima kao što su veličina EES-a, očekivano vršno opterećenje, troškovi izgradnje i eksploatacije.**
- Na kraju između više scenarija bira se onaj koji daje minimum ukupnih godišnjih troškova svih elektrana u sistemu, a zadovoljava postavljene ekološke zahteve.

Struktura proizvodnje električne energije u Srbiji u 2021.godini

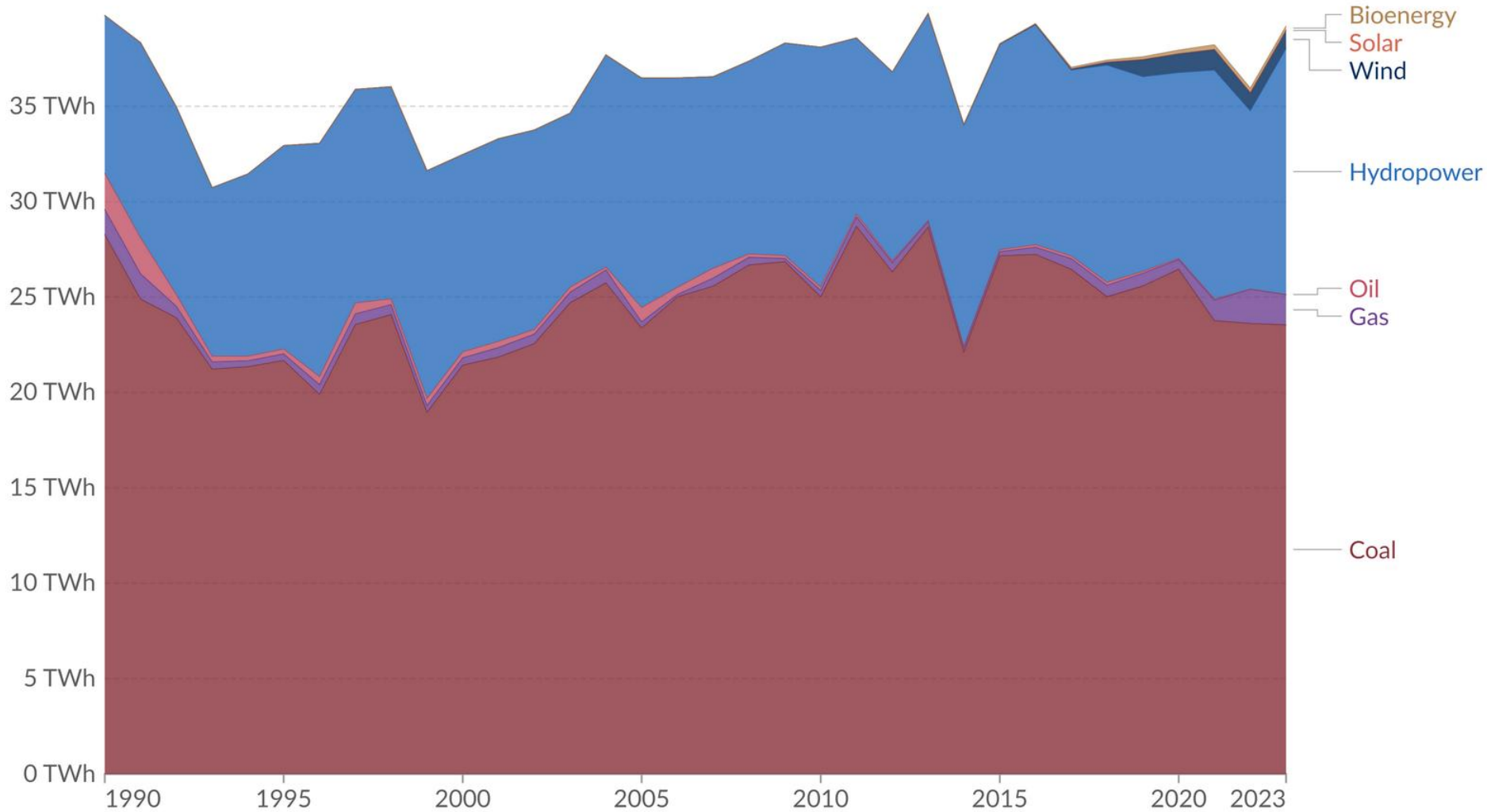


Struktura električne energije proizvedene u sistemu podsticaja



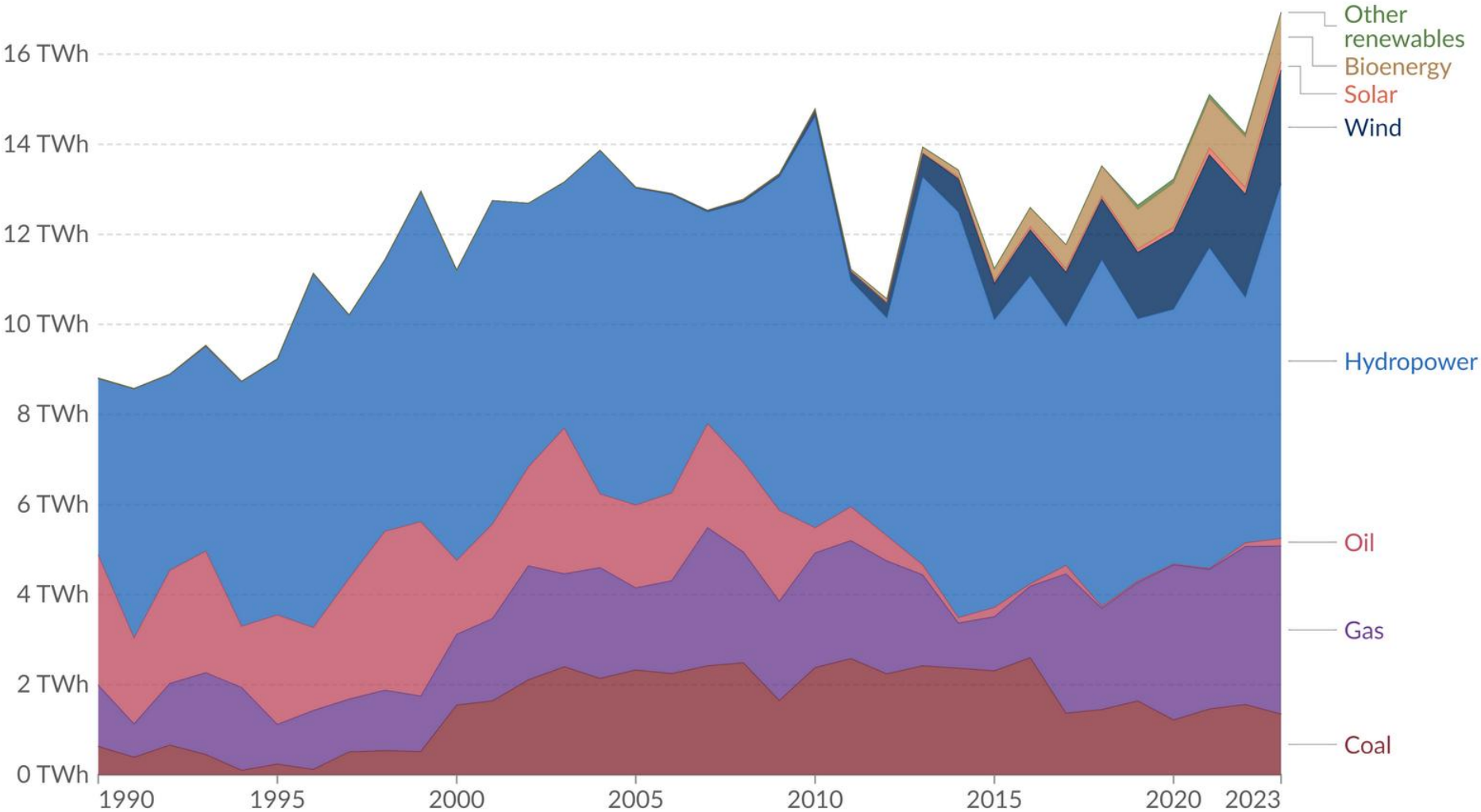
Electricity production by source, Serbia

Measured in terawatt-hours¹.



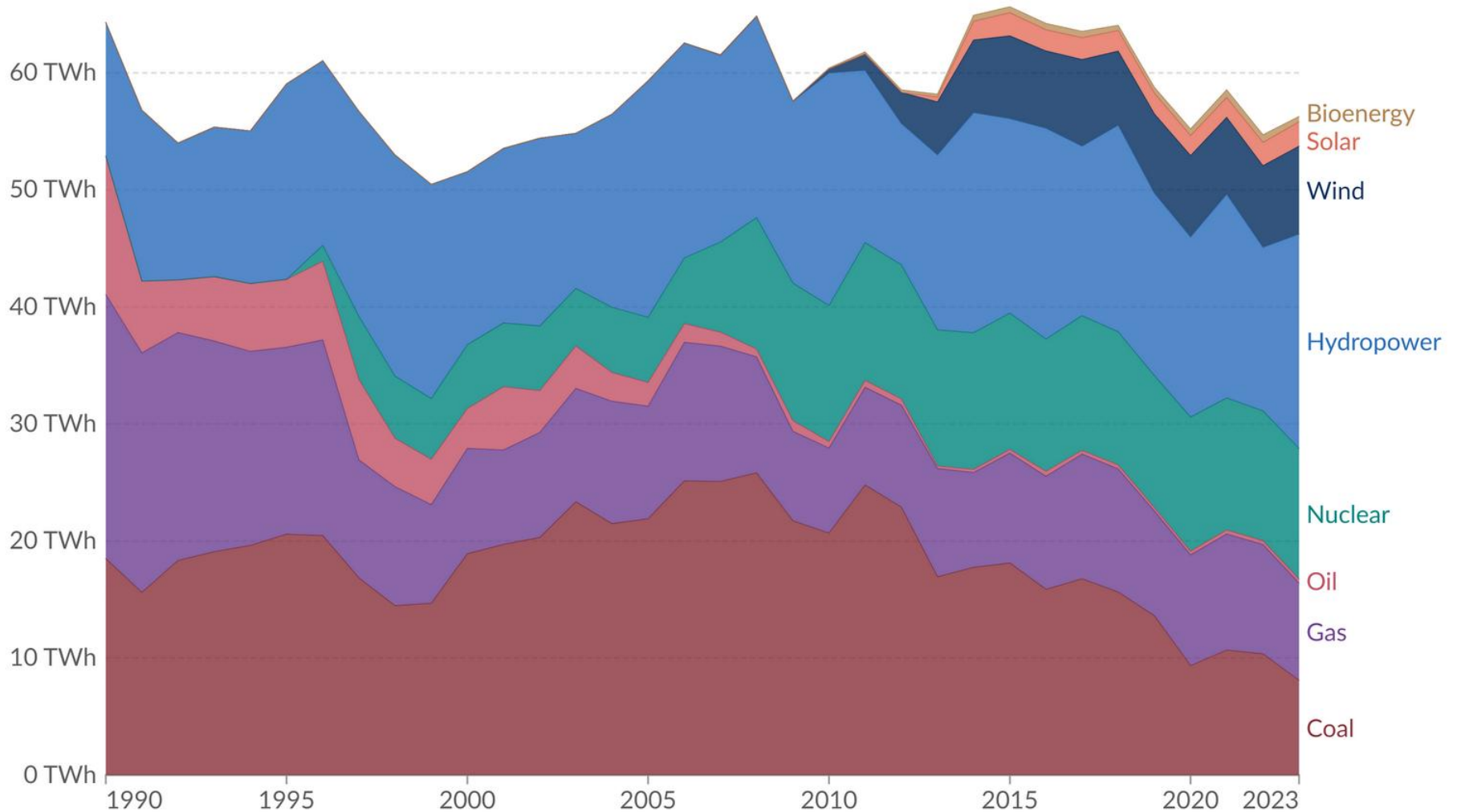
Electricity production by source, Croatia

Measured in terawatt-hours¹.



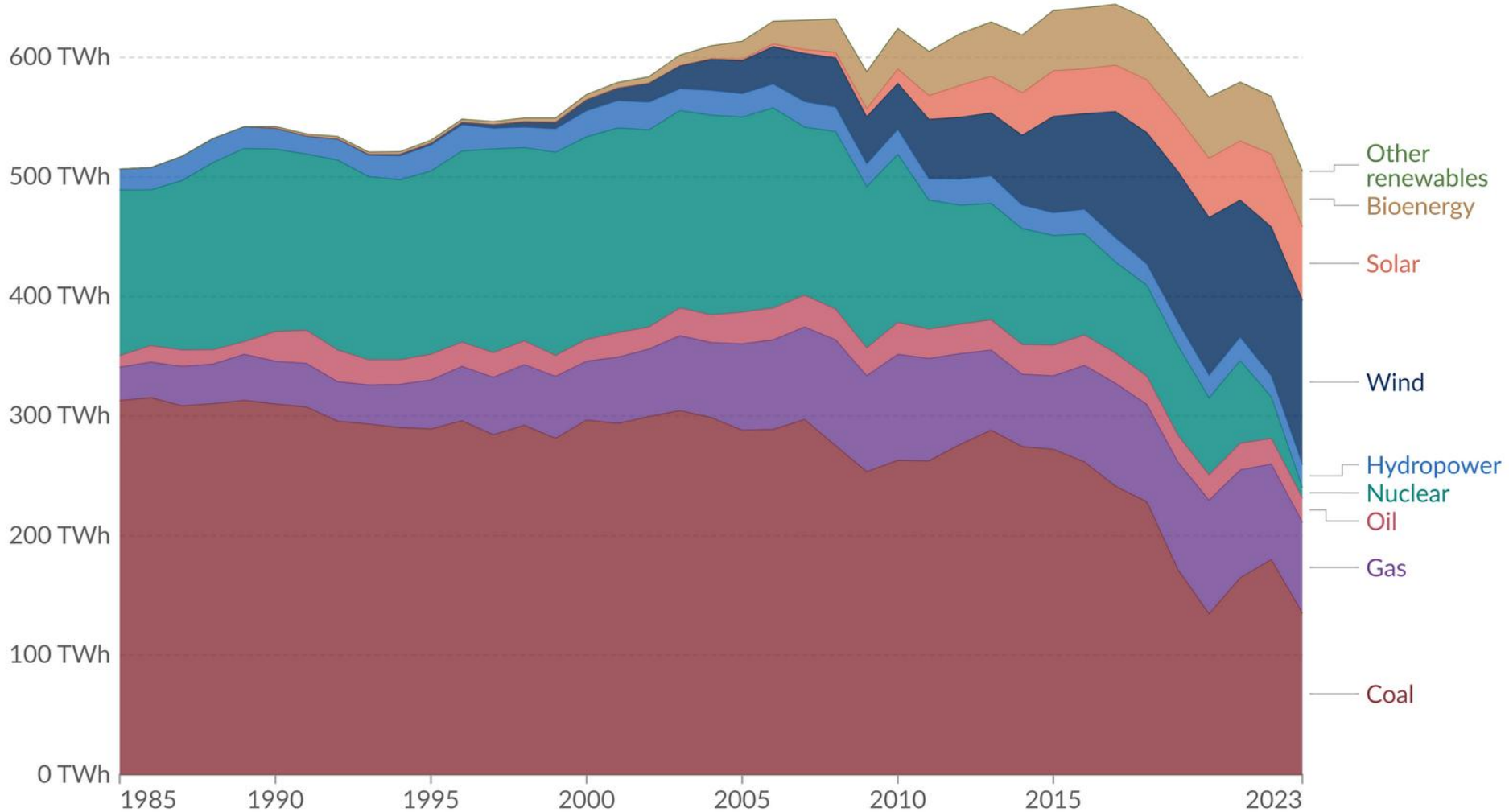
Electricity production by source, Romania

Measured in terawatt-hours¹.



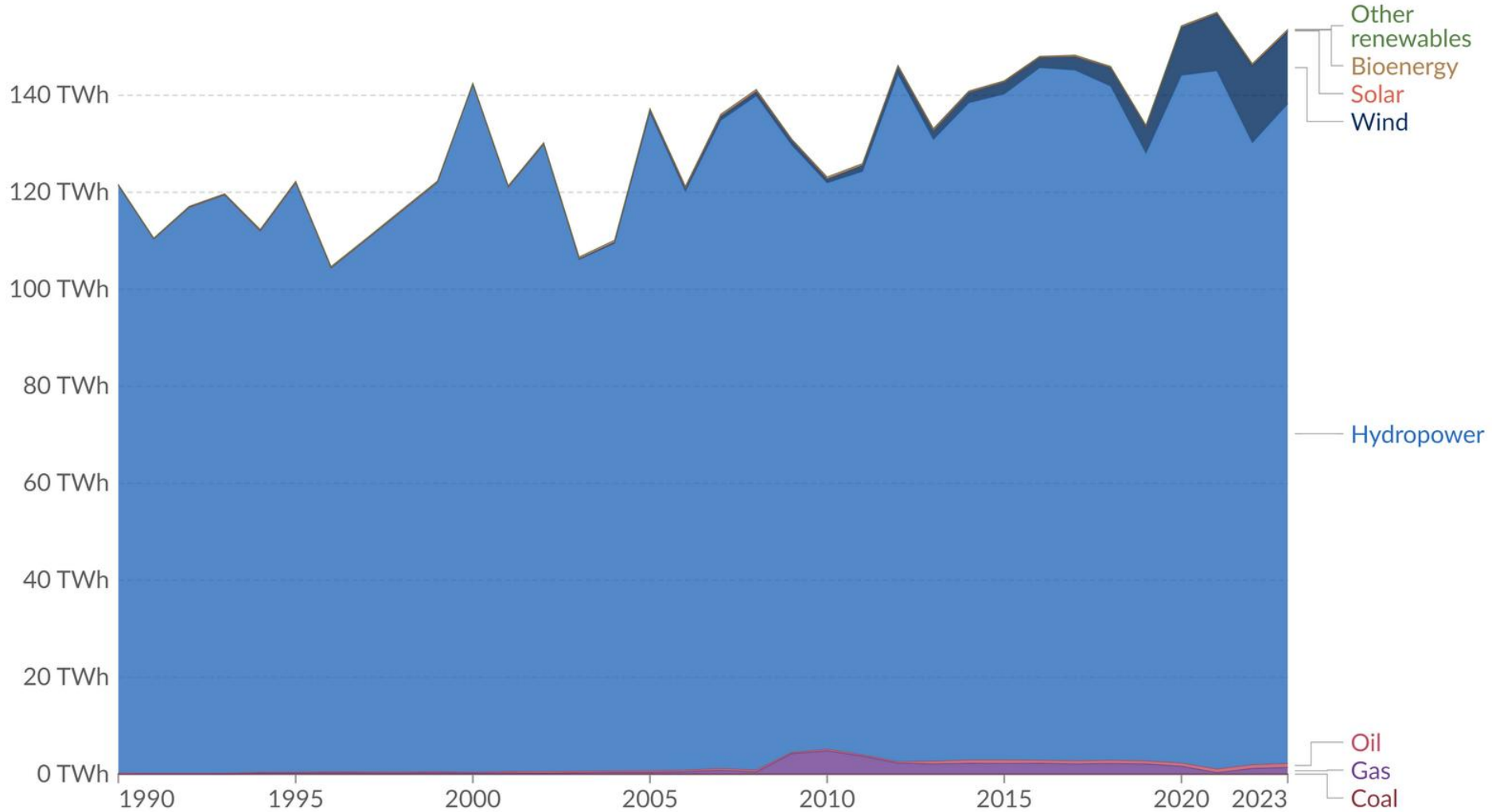
Electricity production by source, Germany

Measured in terawatt-hours¹.



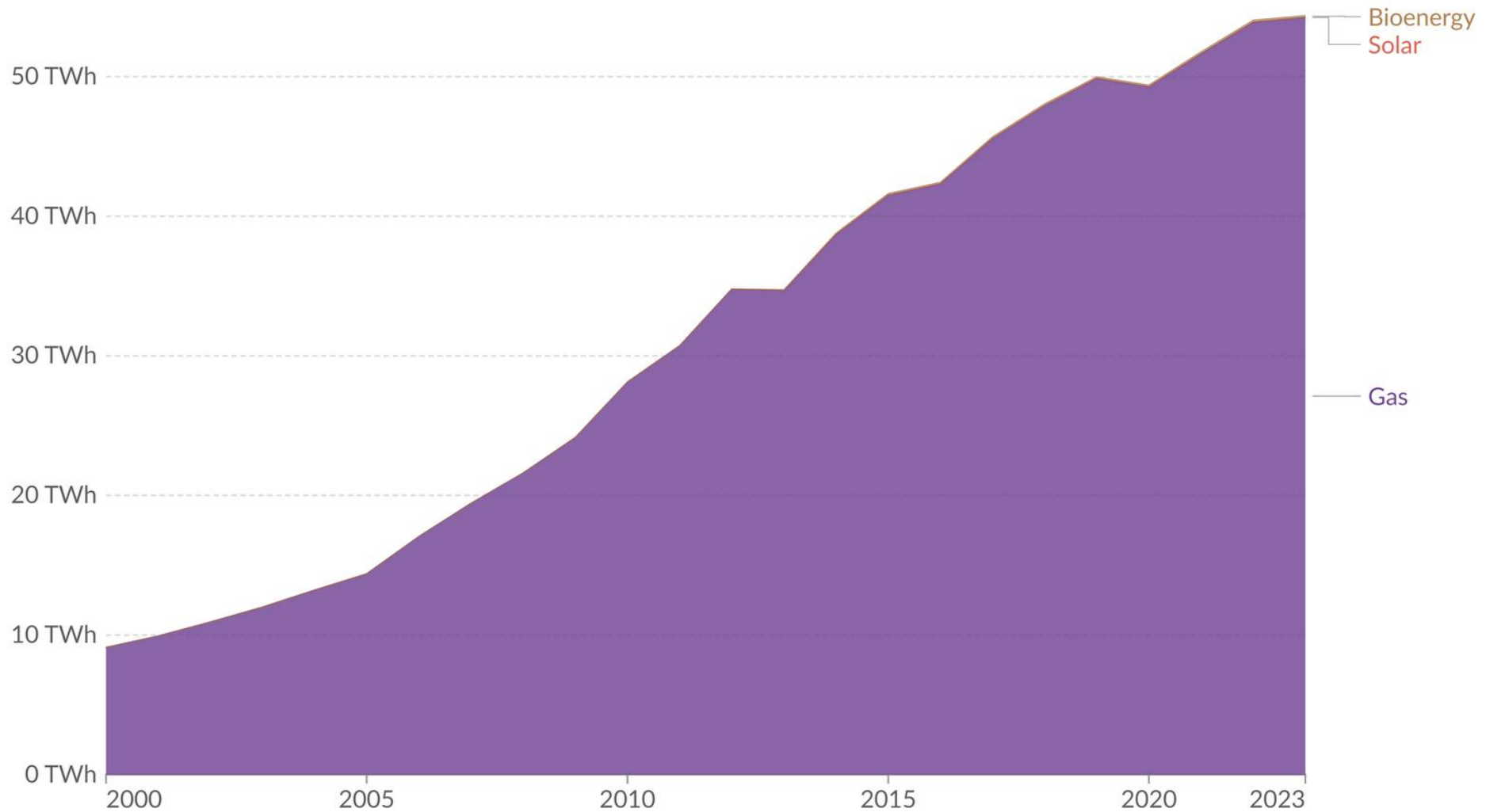
Electricity production by source, Norway

Measured in terawatt-hours¹.



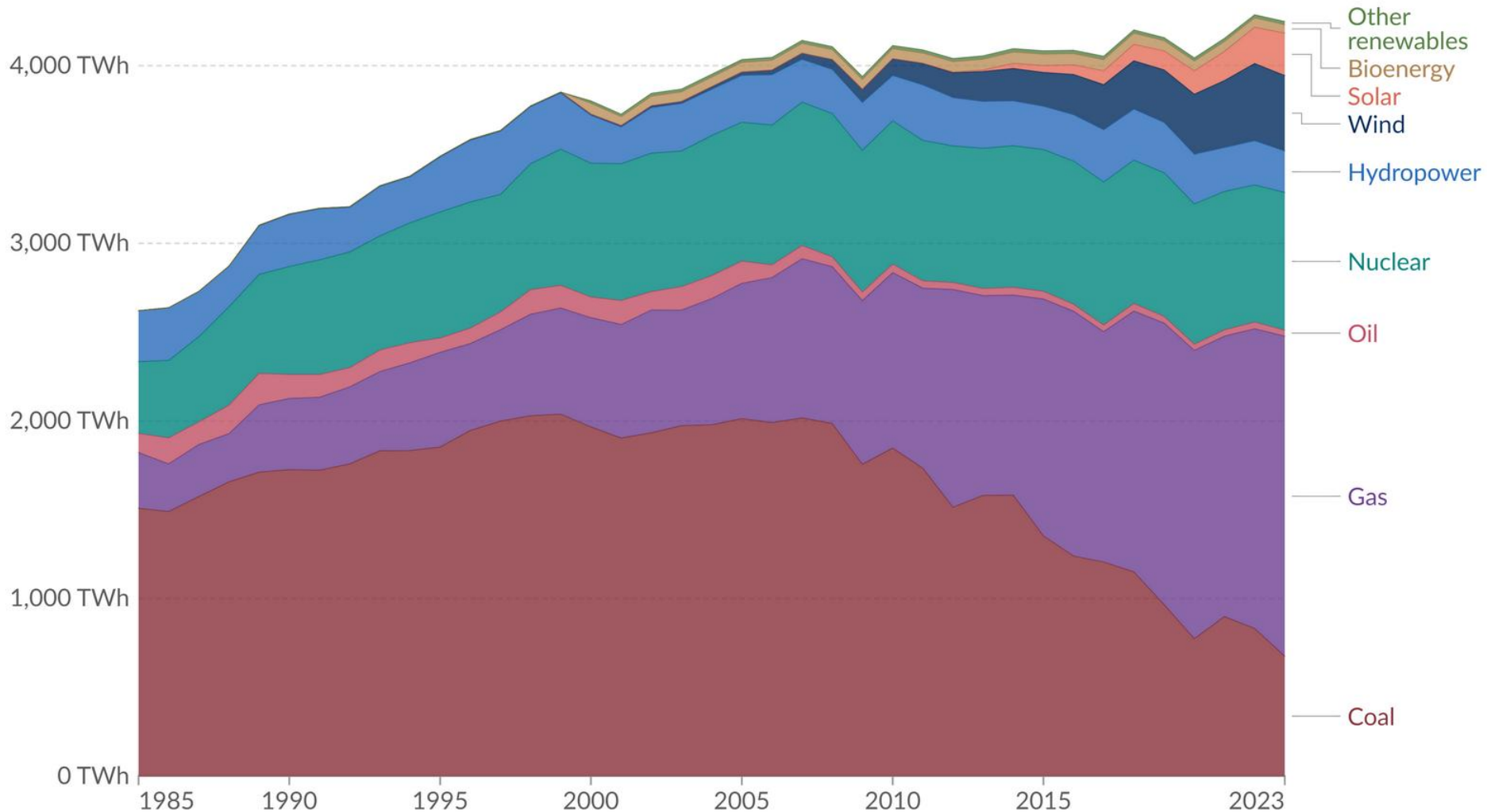
Electricity production by source, Qatar

Measured in terawatt-hours¹.



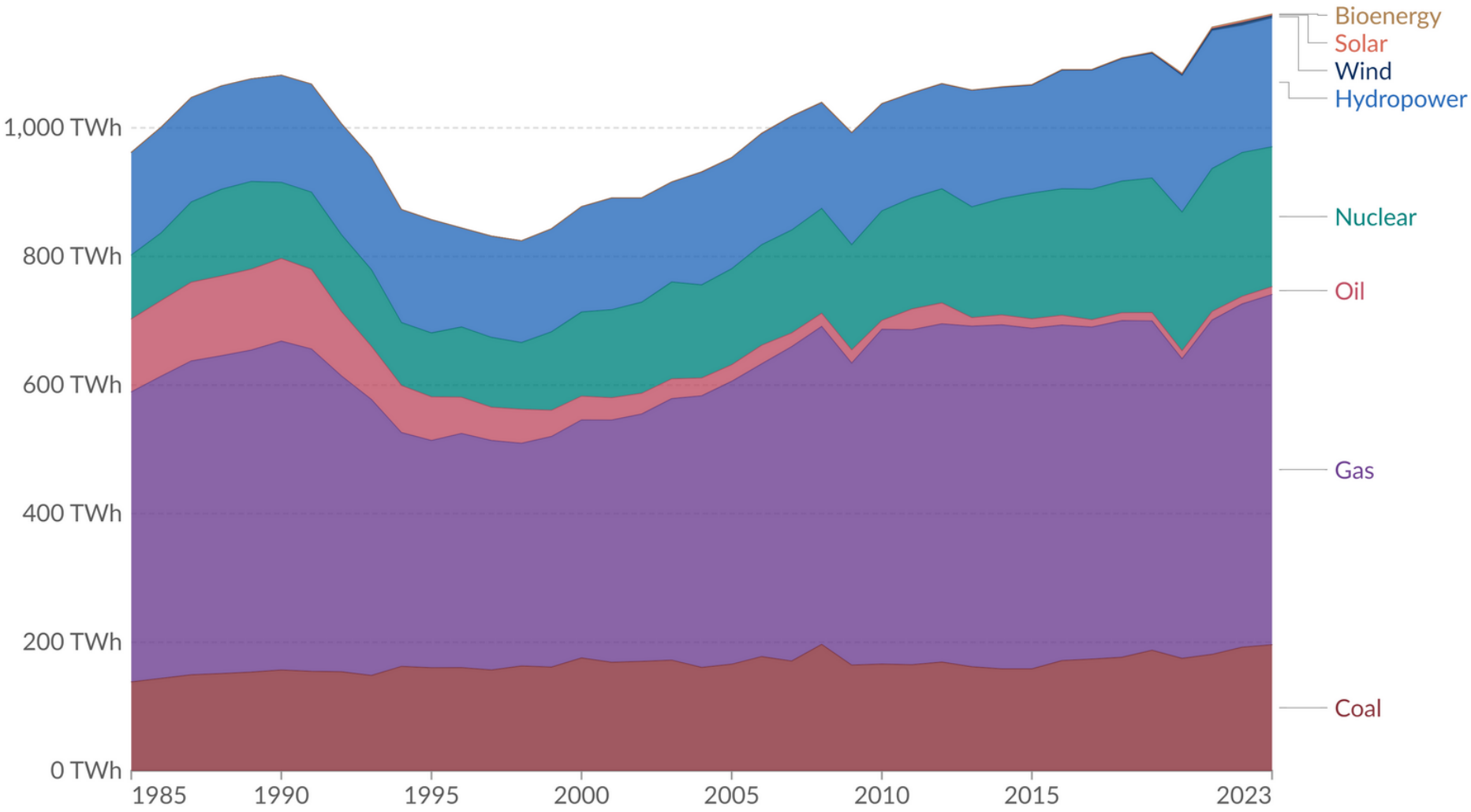
Electricity production by source, United States

Measured in terawatt-hours¹.



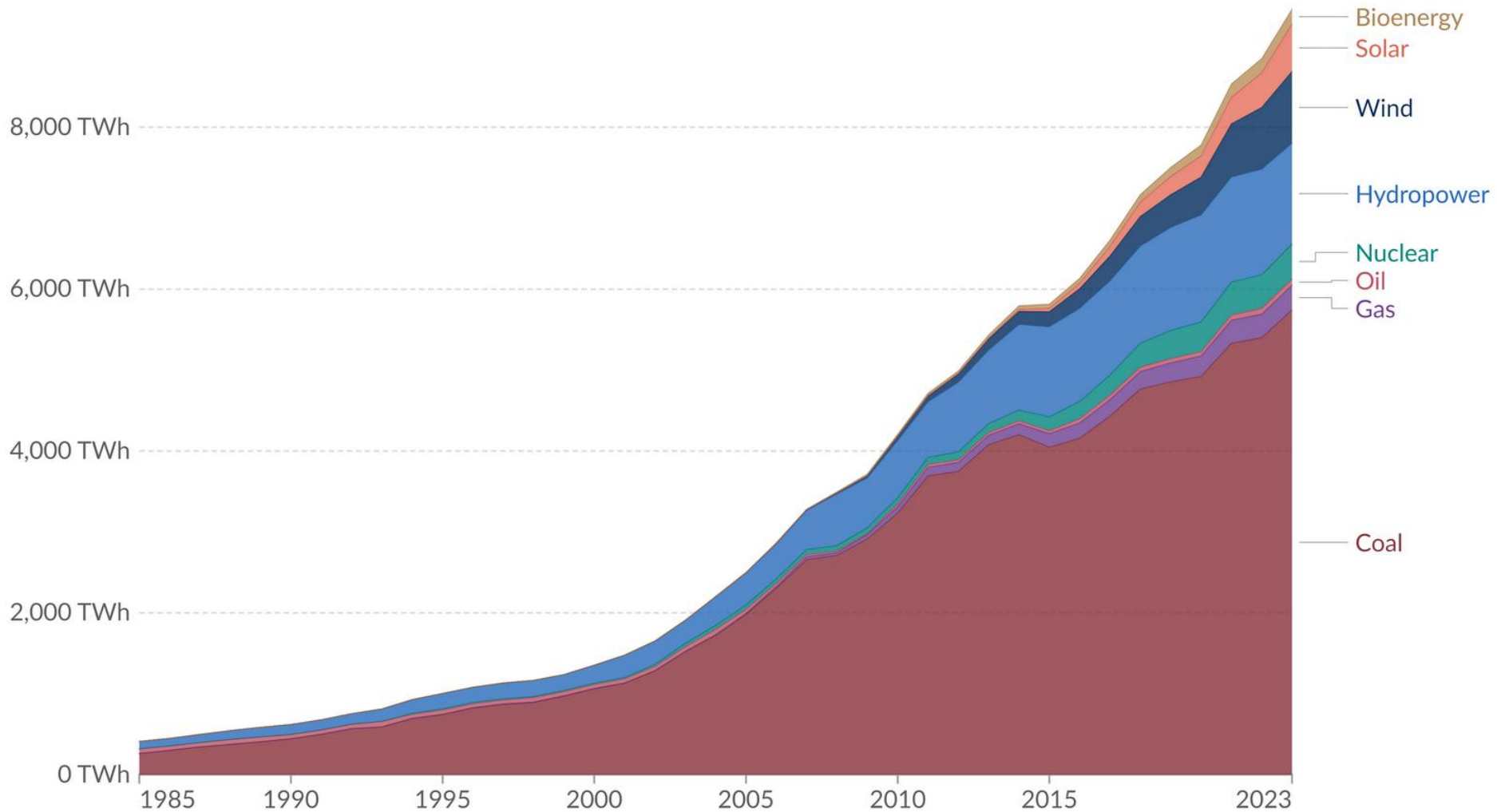
Electricity production by source, Russia

Measured in terawatt-hours¹.



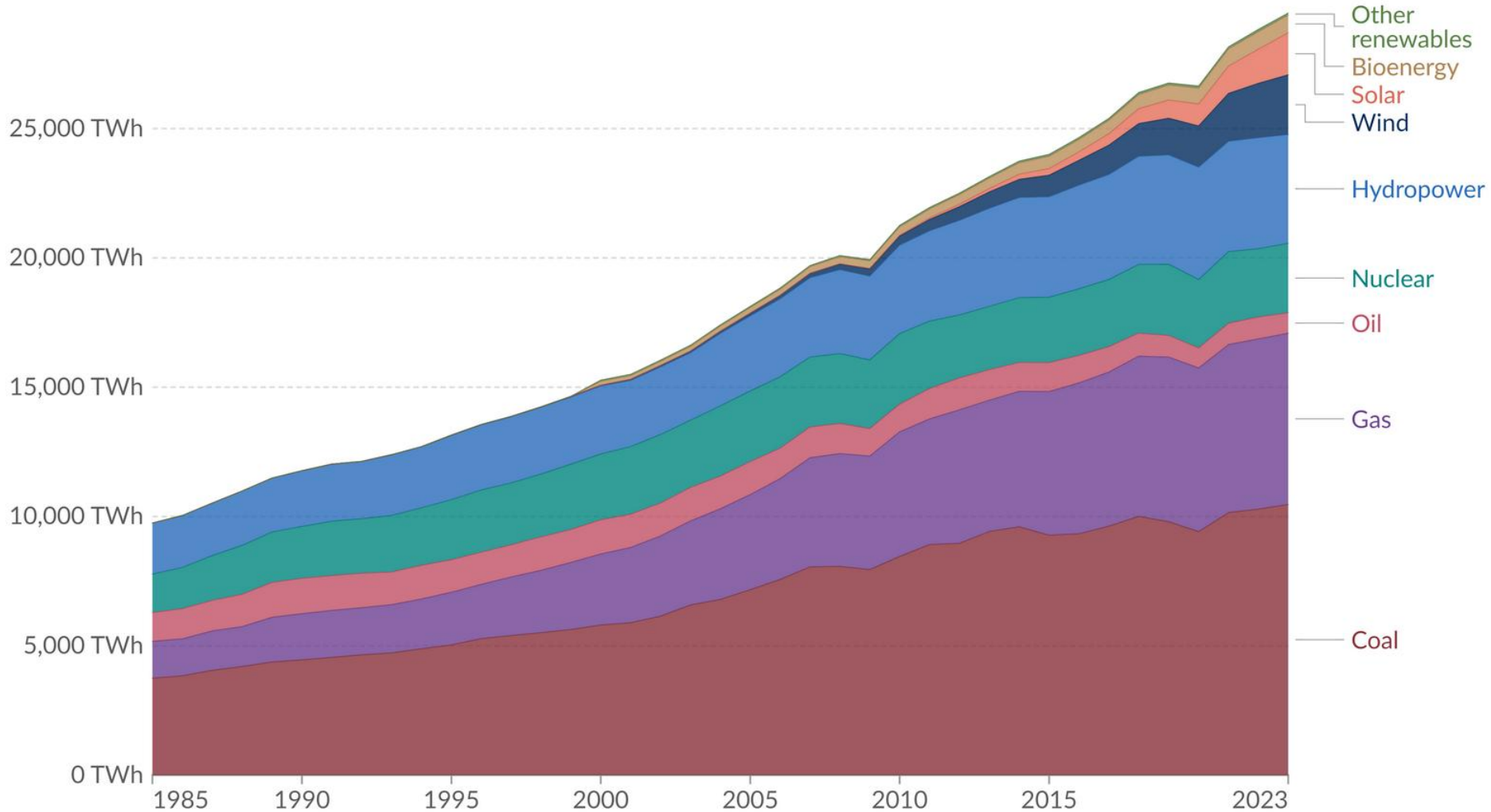
Electricity production by source, China

Measured in terawatt-hours¹.



Electricity production by source, World

Measured in terawatt-hours¹.



3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.6. Troškovi proizvodnih agregata

- Planiranje razvoja svakog EES-a zahteva analizu troškova sistema za razmatrane kombinacije postojećih i novih kapaciteta za koje se daju vremenski planovi ulaska u pogon.
- Podrazumeva se da scenariji razvoja moraju zadovoljiti zahteve bilansa, pouzdanosti i ekologije.
- Dve osnovne komponente troškova su:
 - Investicioni troškovi novih i rekonstruisanih elektrana
 - Eksploatacioni (pogonski) troškovi svih raspoloživih elektrana

3.6. Troškovi proizvodnih agregata

3.6.1. Investicioni troškovi

- To su troškovi neophodni da se realizuje projekat izgradnje nekog novog ili rekonstrukcije postojećeg objekta.
- Ukupni troškovi izgradnje agregata nominalne snage (P_{gn}) u [MW] sastoje se iz sledećih komponenti:
 - Otplata zajma uzetog za izgradnju novog ili rekonstrukciju postojećeg kapaciteta
 - Kamata na pozajmljena sredstva
 - Porezi, doprinosi, takse i osiguranje
 - Troškovi ekoloških prilagođavanja.
- Ukupni godišnji investicioni troškovi svih novih elektrana mešovitog hidro-termo sistema su:

$$C_{IS}^g = \sum_{HE} C_{I,HE}^g + \sum_{TE} C_{I,TE}^g \quad (18)$$

gde je pri godišnjoj stopi investicionih troškova c_I^g (uz odgovarajuće indekse HE i TE):

$$C_I^g = c_I^g \cdot C_I \quad (19)$$

gde su C_I ukupna (početna) investiciona ulaganja.

3.6. Troškovi proizvodnih agregata

3.6.2. Eksploatacioni (pogonski) troškovi

- Eksploatacioni troškovi su svi troškovi koji se ostvaruju pri radu proizvodnih agregata.
- Oni se mogu precizno odrediti samo ako su poznati realni uslovi pogona u svim godinama perioda planiranja.
- Sastoje se iz:
 - stalnih troškova pogona i održavanja (C_{OM}^{og}),
 - promenljivih troškova pogona i održavanja (C_{OM}^{vg}) i
 - promenljivih troškova goriva (C_{gor}) (postoje u TE)
- Ukupni godišnji eksploatacioni troškovi proizvodnog sistema uz pretpostavku da postoje samo TE i HE (može i za ostale tipove) su:

$$C_{EX,S}^g = \sum_{HE} C_{OM,HE}^g + \sum_{TE} (C_{OM,TE}^g + C_{gor,TE}^g) [\text{NJ/god}] \quad (20)$$

gde su (uz odgovarajuće indekse HE i TE) ukupni troškovi pogona i održavanja HE i TE:

$$C_{OM}^g = C_{OM}^{og} + C_{OM}^{vg}$$

3.6. Troškovi proizvodnih agregata

3.6.3. Ukupni i prosečni troškovi proizvodnje el. energije

- Ukupni godišnji troškovi čitavog proizvodnog sistema mogu se dobiti kao zbir investicionih i eksploatacionih troškova.
- Mogu se dobiti i kao zbir fiksnih ($C_{F,S}^g$) i promenljivih troškova ($C_{var,S}^g$).
- Prema tome ukupni godišnji troškovi svih elektrana sistema za određeni scenario razvoja mogu se odrediti prema izrazu:

$$C_S^g = C_{I,S}^g + C_{EX,S}^g = C_{F,S}^g + C_{var,S}^g \text{ [NJ/god]} \quad (21)$$

- Prosečni godišnji troškovi godišnje proizvedene el. energije na pragu elektrana sistema mogu se odrediti kao količnik:

$$c_{W,S}^g = \frac{C_S^g}{W_{E,S}^g} \text{ [NJ/MWh]} \quad (22)$$

gde je $W_{E,S}^g$ očekivana (planirana) godišnja proizvodnja el. energije na pragu elektrana čitavog EES-a u [MWh]

3.6. Troškovi proizvodnih agregata

3.6.3. Ukupni i prosečni troškovi proizvodnje el. energije

- Prosečni troškovi godišnje proizvedene el. energije koja se isporučuje potrošačima moraju još uzeti u obzir i gubitke u prenosnoj mreži, troškove ekoloških prilagođenja, prenosa, distribucije, upravljanja, administracije, taksa, doprinosa, poreza itd.
- Prema tome mogu se izraziti kao:

$$c_{W,Su}^g = c_{W,S}^g (1 + c_D) \text{ [NJ/MWh]} \quad (23)$$

gde c_D predstavlja sve prosečne dodatne troškove u [r.j.] koji se uključuju u prosečne troškove proizvedenog [MWh] el. energije na pragu elektrane

- Ovi troškovi se izračunavaju za usvojeni scenario razvoja, u okviru ekonomskih i finansijskih analiza, a retko u proceduri izbora novih elektrana.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.7. Izrada vremenskog plana i izbor intervala stavljanja u pogon novih i zaustavljanja starih proizvodnih jedinica

- Sledeći važan problem je izrada vremenskog plana stavljanja u pogon planiranih novih agregata i gašenje starih amortizovanih agregata.
- U tu svrhu za određena scenarija (planove) koriste se ekonomske i finansijske analize:
 - Sadašnja ekvivalentna vrednost (PV – “Present Value”)
 - Godišnja ekvivalentna vrednost (AV – “Annual Value”)
 - Buduća ekvivalentna vrednost (FV – “Future Value”)
- Ili profitni metodi:
 - Metod interne stope povraćaja (IRR – “Internal Rate of Return”)
 - Analiza koristi i troškova (BC – “Benefit-Cost” analiza)
- U istom kontekstu treba pomenuti i tretman starih agregata koji se nalaze u pogonu. U svakom planu mora se voditi računa o mogućnostima i potrebi rekonstrukcije i troškovima revitalizacije starih elektrana.
- Zato se uporedo sa planom izgradnje novih kapaciteta mora napraviti i plan rekonstrukcije i gašenja starih elektrana.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.7. Izrada vremenskog plana i izbor intervala stavljanja u pogon novih i zaustavljanja starih proizvodnih jedinica

- Većina termičkih proizvodnih jedinica projektuje se i konstruiše za životni vek 25-30 godina. Kada se stare jedinice rashoduju, elektroprivreda mora da ih zameni sa novim kapacitetima.
- **Ponekad je rentabilnije da se na njima izvrši generalni remont i rekonstrukcija, nego da se sasvim ugase i rashoduju.**
- Vlasnici elektrana odlučuju koja je opcija ekonomičnija kao deo svog procesa planiranja.
- **Problem revitalizacije su i sve strožiji ekološki zahtevi, a to košta.**
- Dodavanje novog agregata u EES, gašenje starog ili revitalizacija može imati značajne efekte na način eksploatacije postojećih agregata, a samim tim i na ukupne troškove proizvodnje i na usvojene ekonomske pokazatelje.
- Na primer prevremeno uvođenje u EES nekog baznog termoagregata na paru dovelo bi do potiskivanja proizvodnje postojećih agregata, većih ukupnih troškova i pogoršanja ekonomskih pokazatelja.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.8. Analiza proizvodnih troškova EES-a

- Kod analize troškova najčešće se koristi metod simulacije gde se analizira verovatni rad agregata u budućoj eksploataciji, plan ugradnje novih i gašenje starih agregata za određeni scenario razvoja.
- Pri analizi mora se uvažiti promena vrednosti novca sa vremenom.
- Obično se vrši svođenje na sadašnju vrednost (PV – “Present Value”)
- Prvo se izračunaju godišnji investicioni troškovi (C_{ij}^g) kojima se dodaju i stalni troškovi pogona i održavanja dajući tzv. fiksne troškove (C_{Fj}^g) za sve godine perioda planiranja ($t=1,2,\dots,T$) i sve agregate ($j=1,2,\dots,m$).
- Pri aktualizaciji stalni godišnji troškovi pogona i održavanja (C_{OM}^{og}) moraju se pomnožiti odgovarajućim faktorom svođenja na sadašnju aktualizovanu vrednost $(PVF)^t$, a onda sabrati sa godišnjim investicionim troškovima.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.8. Analiza proizvodnih troškova EES-a

- Na taj način se dobija kumulativna sadašnja aktualizovana vrednost godišnjih fiksnih troškova sistema:

$$PVC_{F,S} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m [C_{Ij} + C_{OMj}^{og} \cdot (PVF)^t] = \sum_{j=1}^m [C_{Ij} + C_{OMj}^{og} \cdot (PWF)] [NJ] \quad (24)$$

gde su:

$(PVF)^t$ - faktor svođenja godišnjih troškova na sadašnju aktualizovanu vrednost

(PWF) - faktor svođenja uniformnog niza otplata u celom periodu T na sadašnju aktualizovanu vrednost

Da se podsetimo:

$$(PVF)^t = \frac{1}{(1+i)^t}, t = 1, 2, \dots, T$$

$$(PWF) = \frac{(1+i)^T - 1}{i \cdot (1+i)^T}$$

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.8. Analiza proizvodnih troškova EES-a

- Na sličan način se proračunavaju i aktualizovani kumulativni promenljivi (varijabilni) troškovi.
- Oni se sastoje iz zbira promenljivih godišnjih troškova pogona i održavanja (C_{OM}^{vg}) i troškova goriva (C_{gor}^g), kako novih tako i postojećih agregata u sistemu ($j=1,2,\dots,m$).

- Njihova kumulativna sadašnja aktualizovana vrednost je:

$$PVC_{var,S} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m [(PVF)^t \cdot (C_{OM,j}^{vg} + C_{gor,j}^g)] = \sum_{j=1}^m [(PWF) \cdot (C_{OM,j}^{vg} + C_{gor,j}^g)] [NJ] \quad (25)$$

- Konačno, sadašnja aktualizovana (ekvivalentna) vrednost ukupnih kumulativnih godišnjih troškova sistema za čitav period analize dobija se kao:

$$PVC_S = PVC_{F,S} + PVC_{var,S} [NJ] \quad (26)$$

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.8. Analiza proizvodnih troškova EES-a

- Ovako dobijene vrednosti za pojedina scenarija koriste se za njihovo poređenje. Kriterijum je:

$$\min_h \{(PVC_S)_h\}$$

gde je h indeks scenarija

- Na ovakav način se može smanjiti broj scenarija za detaljniju analizu.

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.9. Ekonomsko vrednovanje projekata elektrana

- Postoje razni metodi za utvrđivanje ekonomskih pokazatelja projekata, planova razvoja i poređenje različitih scenarija koje prethode odlučivanju pri izboru najboljeg rešenja.
- Svi metodi počivaju na podacima iz proračuna fiksnih i promenljivih troškova koji su vezani za neki projekat.
- Ovi troškovi se dalje svode na neki zajednički imenitelj kako bi se mogli porediti između sebe.
- **Pomenuće se tri metode:**
 - Metoda svođenja na sadašnju ekvivalentnu vrednost (PV – Present Value),
 - Metoda interne stope povraćaja (IRR – Internal Rate of Return)
 - Metoda proračuna koristi i troškova (BC – Benefit to Cost)

3. Vertikalno-integrirani sistemi

3.9. Ekonomsko vrednovanje projekata elektrana

- Kod prve metode svi troškovi se svedu na početnu godinu celog razmatranog perioda. Na osnovu te vrednosti poredе se različiti razvojni planovi.
- Kod druge metode izračunava se stopa povraćaja kapitala pa se na osnovu nje vrši poređenje pojedinih projekata.
- Kod treće metode poredе se korist (B^g) i troškovi (C^g). Nalazi se odnos B^g/C^g ili razlika $B^g - C^g$. Ovi odnosi se posmatraju kao mera efikasnosti predložene investicije odnosno projekta.