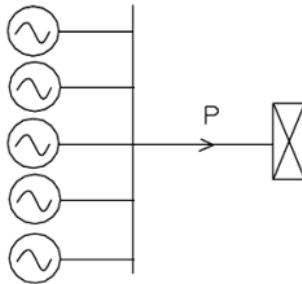


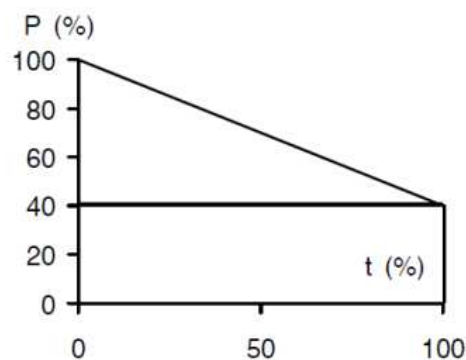
LOLP

Loss of Load Probability, probabilistička metoda za planiranje izgradnje izvora EES-a (LOLP)-indeks pouzdanosti daje očekivani broj dana (ili sati) pojave deficita generatorske snage u godini.

LOLP - indeks je najčešće korišćeni pokazatelj pouzdanosti proizvodnog i potrošačkog podsistema. Metoda očekivanog gubitka opterećenja (LOLP=Loss of Load Probability) zasnovana je na redukovanom modelu elektroenergetskog sistema. Celokupna aktivna potrošnja sistema (inače raznovrsna i brojna, sa klasifikacijom po kategorijama, po naponskim nivoima, sa gubicima, zavisna od učestanosti, napona i reaktivne snage, sa geografskom raspodeljenošću i drugim specifičnostima) sabrana za ceo sistem, vezana je na fiktivne sabirnice, zajedno sa svim generatorima sistema.



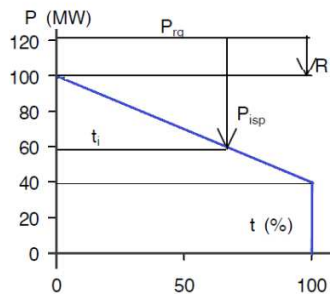
Prikaz potrošnje sistema je veoma redukovan i dat kao dijagram trajanja opterećenja, obično idealizovan pravom negativnog nagiba, u koordinatnom sistemu sa normalizovanom podelom po osama:



$$P(\%) = \frac{P}{P_M} 100$$

$$t(\%) = \frac{t}{365} 100$$

Predstava izvora sistema je takođe redukovana do informacije o raspoloživom ili instalisanom kapacitetu (P_{rg}), koje se prikazuje kao ordinata, raspoložive (instalisan) snage, na istom dijagramu sa opterećenjem:



Rezerva:

$$R = P_{rg} - P_M$$

Rezerva R je razlika P_{rg} (MW), ukupne raspoložive snage izvora u sistemu koincidentnog sa maksimalnim opterećenjem i P_M (MW), maksimalnog opterećenja sistema. Ukupna raspoloživa snaga izvora sistema je uvek manja od sume maksimalnih snaga elektrana zbog pregleda, popravki (remonta) i kvarova (ispada). Kod hidroelektrana može da bude manja još i zbog nižih dotoka i stanja akumulacije.

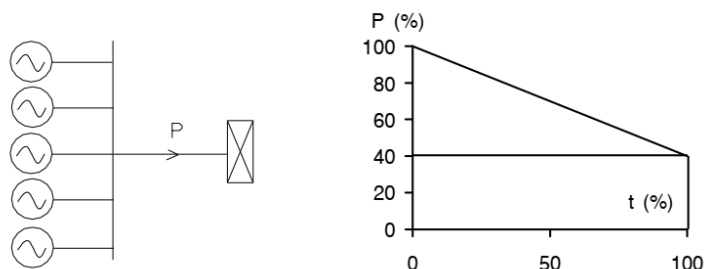
Pokazatelj u LOLP metodi je matematičko očekivanje:

$$E = \sum_i p_i t_i$$

Ovde je p_i verovatnoća gubitka one snage izvora (P_{isp}) koji dovodi do gubitka opterećenja, odnosno, redukcije potrošnje.

Vreme t_i je vreme trajanja gubitka opterećenja. Jedinica je E (dan/god) ili E (h/god). Da bi uopšte došlo do gubitka opterećenja potrošača, potrebno je da bude $P_{isp} > R$ odnosno i da se dogodi ispad i da on bude veći od rezerve. Ispadi manji od rezerve ne dovode do gubitka opterećenja i ne računaju se.

1. Elektroenergetski sistem kao na slici levo obuhvata pet generatora jednakih snaga $P_G=40$ MW, jednakih raspoloživosti $p=0.99$. Potrošnja ovog sistema P data je kao uređena kriva trajanja opterećenja u procentima, na slici desno.

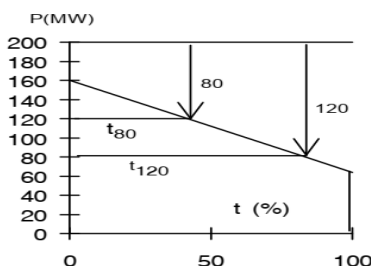


a) Ako je maksimalno godišnje opterećenje sistema u posmatranoj godini 160MW, izračunati očekivani gubitak opterećenja E (dan/god). Verovatnoće manje od 10^{-5} zanemariti.

Prvo crtamo dijagram trajanja opterećenja u apsolutnim jedinicama, odnosno MW:

$$P_M = 160 \text{ MW}$$

$$P_m = 160 * 0.4 = 64 \text{ MW}$$



Zgodno je da napravimo tabelu stanja na osnovu koje ćemo zaključiti koji ispadi doprinose proračunu LOLP indeksa. Da bismo poračunali verovatnoće svih mogućih ispada koristićemo Paskalov trougao:

n=0						1
n=1				1		1
n=2			1	2		1
n=3		1	3	3		1
n=4		1	4	6	4	1
n=5	1	5	10	10	5	1
...itd.						

$$(p + q)^5 = p^5 + 5p^4q + 10p^3q^2 + 10p^2q^3 + 5pq^4 + q^5$$

stanje	$P_{isp}[MW]$	p	t[%]	pt [%]
p^5	0	0.95099	/	/
$5p^4q$	40	0.04803	/	/

$10p^3q^2$	80	0.00097	41.67	0.04042
$10p^2q^3$	120	$9.801 * 10^{-6} \approx$ 0.00001	81.33	0.00081
$5pq^4$	160	/	/	/
q^5	200	/	/	/
		$\sum p = 1$		$\sum 0.04123 \%$

$$t_{80} = \frac{40}{96} 100 = 41.67\%$$

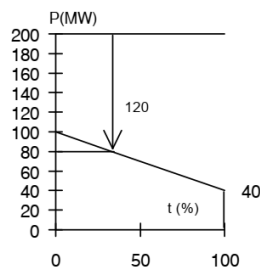
$$t_{120} = \frac{80}{96} 100 = 83.33\%$$

$$E = 0.04123 * 365 * 0.01 = 0.15 \frac{\text{dan}}{\text{god}} = 3.61 \frac{h}{\text{god}}$$

b) Ako se maksimalno godišnje opterećenje sistema menja od 100 do 200 MW, sa korakom od 20MW, naći zavisnost $E=f(P_M)$.

Za svaku od 6 vrednosti maksimalne potrošnje treba da proračunamo vrednost E. Na času radimo za vrednosti 100, i 200 MW, a za domaći ostalo. Dobra stvar je što smo verovatnoće ispada generatora već sračunali. U proračunu LOLP pokazatelja kada je $P_M = 100 \text{ MW}$ treba uvažiti samo ispad 3 generatora, odnosno snage od 120 MW, jer ispadi manje snage nisu veći od rezerve, odnosno ne ugrožavaju potrošnju, a ispad veće snage je verovatnoće manje od 10^{-5} .

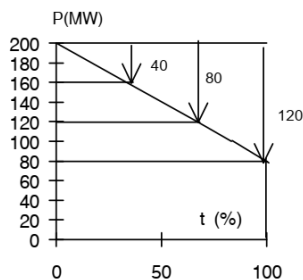
$P_M = 100 \text{ MW}$



$$t_{120} = \frac{20}{60} * 100 = 33.33\%$$

$$E = 0.00001 * \frac{33.33}{100} * 365 = 0.00121 \frac{\text{dan}}{\text{god}}$$

Kada je $P_M = 200 \text{ MW}$, uvažavamo ispade od 40MW, 80MW i 120 M



$$t_{140} = \frac{40}{120} * 100 = 33.33\%$$

$$t_{120} = \frac{80}{120} * 100 = 66.67\%$$

$$t_{120} = \frac{120}{120} * 100 = 100\%$$

$$E = (0.04803 * 33.33 + 0.00097 * 66.67 + 0.00001 * 100) * 365 / 100 = 6.082 \text{ dan/god}$$

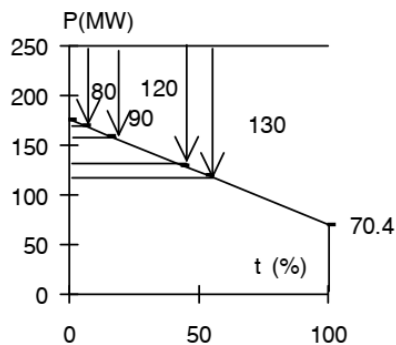
c) Ako maksimalno godišnje opterećenje sistema raste 10% godišnje i ako se očekivani gubitak opterećenja u posmatranoj godini (izračunat pod a) usvoji za vrednost tolerantnog nivoa rizika (kriterijumski nivo očekivanog gubitka opterećenja) E_{kr} , odrediti u kojim godinama treba uvesti novi generator snage 50 MW ($r=0,99$) da bi pouzdanost ovog elektroenergetskog sistema po LOLP metodi bila sačuvana. Proračun ograničiti na interval od pet godina.

$$E_{kr} = 0.15 \frac{dan}{god}, P_{M,1} = 160 MW, p = 10\%$$

$$P_{M,n} = P_{M0}(1 + p)^n$$

P_M [MW]	godina
160	1
176	2
193.6	3
213	4
234.3	5

Za $P_M = 176 MW$ dobija se $E = 2.9 \frac{dan}{go} > E_{kr}$ sledi da u drugoj godini treba dodati jedan generator od 50MW, razlikuje se po snazi od drugih, ali ima istu raspoloživost. Ponovo računamo očekivani gubitak opterećenja.



$$P_M = 176 MW, P_m = 176 * 0.4 = 70.4 MW$$

$$P_{ukupno} = 200 + 50 = 250 MW$$

$$p = 0.99 \quad q = 0.01 \quad r = 0.99 \quad n = 0.01$$

Ovo je interesantno, kad nemamo više iste agregate u sistemu.

stanje	P_{isp} [MW]	p	t[%]	pt [%]
$p^5 r$	0	0.9414 8	/	/
$5p^4 qr$	40	0.0475 5	/	/
$p^5 n$	50	0.0095 1	/	/
$10p^3 q^2 r$	80	0.0009 6	5.68	0.00545
$5p^4 qn$	90	0.0004 8	15.1 5	0.00727
$10p^2 q^3 r$	120	0.0000	43.5	0.000435

		1	6	
$10p^3q^2n$	130	$\frac{0.0000}{1}$	$\frac{53.0}{3}$	0.00053
		$\sum_{=1}^p$		$\sum 0.01368 \%$

$$t_{80} = \frac{6}{105.6} 100 = 5.68 \%$$

$$t_{90} = \frac{16}{105.6} 100 = 15.15\%$$

$$t_{120} = \frac{46}{105.6} 100 = 43.56\%$$

$$t_{130} = \frac{56}{105.6} 100 = 53.03\%$$

$$E = 0.01368 * \frac{365}{100} = 0.04995 \frac{dan}{god} < E_{kr}$$

Uvođenjem novog generatora, ispunjeno je uslov. Za izvesno vreme biće očuvana pouzdanost sistema. Koliko je to vreme, ne možemo unapred da znamo bez generisanja tabela i pretraživanja, pošto je metoda heuristička.

U trećoj godini dobija se da je $E = 0.11 \frac{dan}{god}$

U četvrtoj godini dobija se da je $E = 0.73 \frac{dan}{god} > E_{kr}$ pa dakle u 4. godini treba ubaciti još jedan generator snage 50MW. Ukupna instalisana snaga je sada 300 MW, a maksimalno opterećenje je 213 MW. Tada se dobija da je $E = 0.011 \frac{dan}{god} < E_{kr}$.

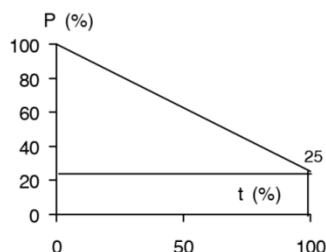
U petoj godini dobija se da je $E = 0.11 \frac{dan}{god}$

Dakle, potrebno je da se nove generatorske jedinice puste u rad u 2. i 4. godini posmatranog vremenskog interval kako bi bili očuvani zahtevi za pouzdanošću sistema.

2. Elektroenergetski sistem ima dva generatora snage 60MW i raspoloživosti $p=0,9$. Potrošnja je data kao dijagram trajanja opterećenja, prikazan na slici. Maksimalno godišnje opterećenje u godini k iznosi 80MW i raste za 10% godišnje. Po LOLP metodi, izračunati za ovaj sistem tolerantni nivo rizika iz godine k , E_k (dan/god). Sistem se zatim posmatra u godini $k+1$. Cena

generatora od 40MW je 25NJ/MW. Rizik od gubitka opterećenja iznad E_k plaća se 1000NJ/dan. Kamatna stopa iznosi 30%. Od dve varijante u godini $k+1$ treba izabrati ekonomičniju. Troškove svesti na godinu k . Varijante su:

- a) nema uvođenja novog generatora, troškovi su samo od prekomernog rizika;
- b) uvodi se po 1x40MW ($r=0,9$);



Rešenje:

Kriterijumski nivo gubitka opterećenja (tolerantni nivo rizika) određuje se kao očekivani gubitak opterećenja sistema u godini k , pri maksimalnom opterećenju sistema $P_M=80MW$ i za raspoloživu snagu $2x60MW$ ($p=0,9$; $q=0,1$).

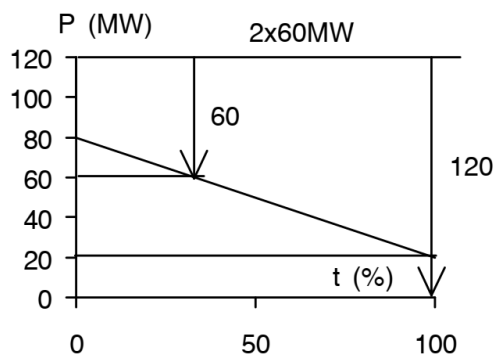


Tabela ispada je:

stanje	P_{isp} (MW)	p (1)	t (%)	pt (%)
$2pq$	60	0,18	33,33	5,9994
q^2	120	0,01	100	1,0
Σpt				6,9994

Očekivani gubitak opterećenja je (ujedno i tolerantni nivo gubitka opterećenja):

$$E_k = 6.9994 * \frac{365}{100} = 25.55 \text{ dan/god}$$

sad posmatramo godinu $k+1$. Stopa rasta je 10%, što znači da je maksimalno opterećenje $P_M = 88 MW$, a minimalno opterećenje je $P_m = 0.25 * 88 = 22 MW$

- a) Proračunati za vežbu

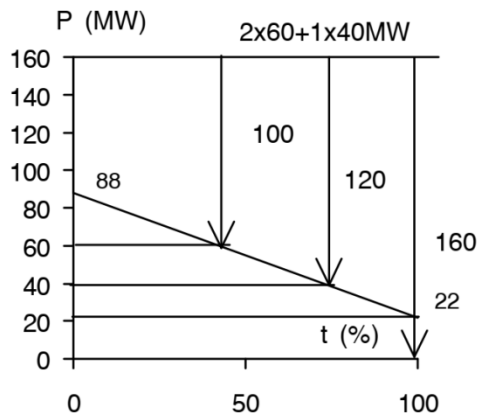
$$E_a = \sum pt \frac{365}{100} = 8,6356 \cdot 3,65 = 31,52 \frac{\text{dan}}{\text{god}}$$

$$\Delta E = E_a - E_{kr} = 31,52 - 25,55 = 5,97 \frac{\text{dan}}{\text{god}}$$

“Sadašnja” vrednost (problem 1.2) troškova prekomernog rizika iznosi

$$(PV)_a = \frac{1000 \Delta E}{1 + i} = \frac{1000 \cdot 5,97}{1,3} = 4592,3 \text{ NJ}$$

b) Ukoliko se doda generator snage 40MW I raspoloživosti $r=0.9$.



Sva stanja raspoloživosti sistema mogu se dobiti iz

$$(p + q)^2(r + n) = 1$$

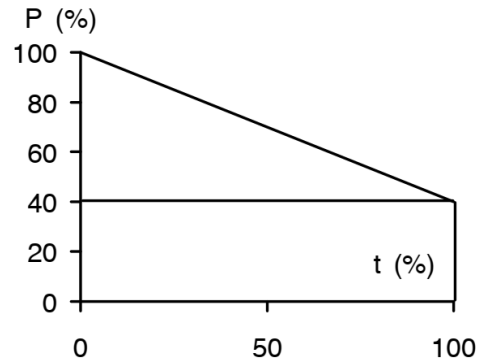
stanje	P_{isp} (MW)	p (1)	t (%)	pt (%)
2pqn	100	0,018	42,42	0,76356
q^2r	120	0,009	72,73	0,65457
q^2n	160	0,001	100	0,1
Σpt				1,51813

$$E = 1.51813 \cdot \frac{365}{100} = 5.541 \text{ dan/god}$$

Pošto je $E < E_{kr}$ nema troškova plaćanja prekomernog rizika, pa je jedini trošak izgradnja elektrane:

$$PV_b = \frac{40 \cdot 25}{1.3} = 769.23 \text{ NJ}$$

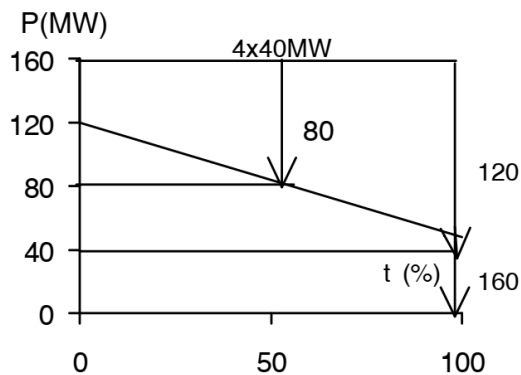
3. Elektroenergetski sistem sadrži 4x40MW generatora istog tipa ($p=0,97$). Na slici je dat godišnji dijagram trajanja opterećenja sistema. Maksimalno godišnje opterećenje sistema je $P_M = 120 \text{ MW}$.



Izračunati:

a) očekivani gubitak opterećenja $E(\text{h/god}) = E_{kr}$;

b) ako se jedan generator nalazi u planskom remontu u trajanju od $T_R = 1/3$ godine u periodu smanjenih opterećenja sistema, naći približno $E(\text{h/god})$ za taj slučaj.



Sva stanja raspoloživosti 4 agregata dobijaju se iz binomne raspodele:

$$(p + q)^4 = p^4 + 4p^3q + 6p^2q^2 + 4pq^3 + q^4$$

Tabela za analizirani slučaj:

stanje	P_{isp} (MW)	p (1)	t (%)	pt (%)
$6p^2q^2$	80	0,005081	55,57	0,28235
$4pq^3$	120	0,000105	100	0,0105
q^4	160	0,000001	100	0,0001
Σpt				0,293

$$E = E_{kr} = 0.293 * 365 * 24/100 = 1.07 \text{ dan/god} = 25.67 \text{ h/god}$$

b) Planski ispadi (remonti) i ispadi kao iznenadni događaji mogu zajedno da se modeluju u LOLP metodi tako, što se “crtā” instalisane snage “spusti” za iznos snage u remontu sve dokle

remont traje ili tako što se “podigne” prava idealizovanog dijagrama trajanja opterećenja, što se svodi na isto.

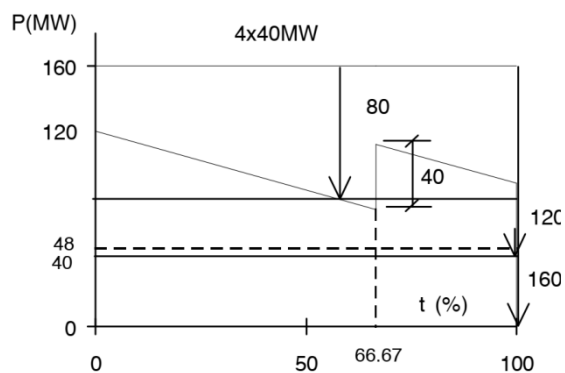


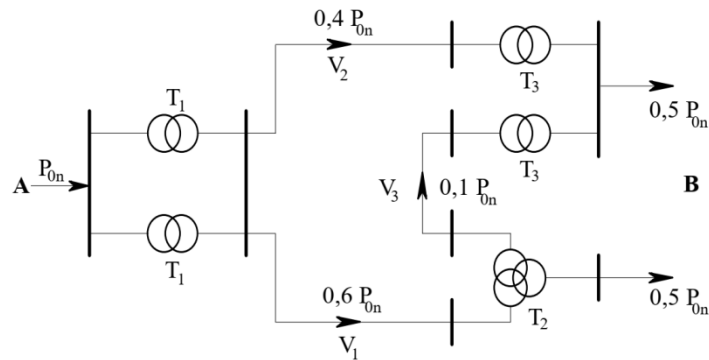
Tabela IV.13

stanje	P_{isp} (MW)	p (1)	t (%)	pt (%)
$6p^2q^2$	80	0,005081	88,89	0,45165
$4pq^3$	120	0,000105	100	0,0105
q^4	160	0,000001	100	0,0001
Σpt				0,46225

Očekivani gubitak opterećenja iz ove tabele iznosi:

$$E_b = 0,46225 \frac{365}{100} = 1,687 \text{ dan / god}$$

4. Za šemu na slici, na kojoj je prikazana raspodela tokova snage pri prenosu snage P_{0n} iz A u B, treba odrediti sve događaje ispada uređaja za prenos iz A u B i izračunati njihove verovatnoće. Ispadi uređaja za prenos ne uzrokuju preraspodelu snage u mreži. Podaci o prenosnim kapacitetima uređaja i verovatnoće rada p uređaja, dati su u tabeli.



Transfor- matori	Prenosni kapacitet	p (1)	Vod	Prenosni kapacitet	p (1)
T_1	$1,0 P_{0n}$	0,997	V_1	$0,7 P_{0n}$	0,92
T_2	$1,0 P_{0n}$	0,996	V_2	$0,4 P_{0n}$	0,95
T_3	$1,0 P_{0n}$	0,998	V_3	$0,1 P_{0n}$	0,99

Rešenje:

Verovatnoće ispada snage 0, $0,1 P_{0n}$, $0,4 P_{0n}$, $0,5 P_{0n}$, $0,6 P_{0n}$, i P_{0n} izračunavaju se iz izraza u kojima su preko svojih raspoloživosti, prisutni svi elementi.

$$p(0) = (1 - q_{T1}^2) p_{T2} p_{T3}^2 p_{V1} p_{V2} p_{V3} = 0.858348$$

$$p(0.1 P_{0n}) = (1 - q_{T1}^2) p_{T2} p_{T3} p_{V1} p_{V2} (1 - p_{T3} p_{V3}) = 0.0104077$$

$$p(0.4 P_{0n}) = (1 - q_{T1}^2) p_{T2} p_{T3} p_{V1} p_{V3} (1 - p_{T3} p_{V2}) = 0.0469868$$

$$p(0.5 P_{0n}) = (1 - q_{T1}^2) p_{T2} p_{V1} (1 - p_{T3} p_{V3}) (1 - p_{T3} p_{V2}) = 0.0005697$$

$$p(0.6 P_{0n}) = (1 - q_{T1}^2) p_{T3} p_{V2} (1 - p_{V1} p_{T2}) = 0.079336$$

$$p(P_{0n}) = 1 - p(0) - p(0.1 P_{0n}) - p(0.4 P_{0n}) - p(0.5 P_{0n}) - p(0.6 P_{0n}) = 0.0043518$$