

Техничка препорука бр.14 - Додатак -

**ПРИМЕРИ ПРОРАЧУНА ПОТРЕБА ЗА ЕЛЕКТРИЧНОМ
ЕНЕРГИЈОМ И ВРШНОМ СНАГОМ ПОТРОШАЧА
ПРИКЉУЧЕНИХ НА ЕЛЕКТРОДИСТРИБУТИВНУ МРЕЖУ**

II.-о издање

Обрадили:

Томислав Бојковић
мр Миладин Танасковић
Слободан Максимовић

септембар 2001. године

Намера обрађивача Додатка ТП-14 је да се на неколико карактеристичних примера детаљније анализирају и појасне поједина питања и решења усвојена у ТП-14а и ТП-14б, као:

- ТП-14а: глобална прогноза електричне енергије и вршне снаге.
 - ТП-14б: прорачун максималног једновременог оптерећења стамбених насеља по групама потрошње, избор оптималне снаге ЕТ-а, прорачун броја домаћинстава који може да се прикључи на ЕТ или НН вод итд.
- У вези са овим развијен је кориснички програм "Maksop20" који ове проблеме решава брзо и "комфорно", али је корисно знати и физичку основу и релевантне параметре који се користе при решавању тих проблема.

Додатак ТП-14 је првенствено намењен лицима без већег искуства на решавању ових проблема.

Обрађивачи користе прилику да захвале господину Мирку Јеличићу на доприносу за конкретно решавање многих од проблема који су предмет разматрања ТП-14б и господину Срђи Мрђи за конкретно решавање многих од проблема који су предмет разматрања ТП-14а.

септембар 2001.

Пример бр. 1:

У новом насељу са централним грејањем гради се група од 200 станова. Усељавање је предвиђено у 2001.-ој години.

- а) Одредити максимално једновремено оптерећење ове групе станова у години прикључења на мрежу.
- б) Одабрати снагу ЕТ-а 10/0,4 kV који би напајао ову групу станова.
- в) Које године треба донети одлуку о повећању инсталисане снаге ЕТ-а по основу природног пораста оптерећења ове групе станова, а које године треба заменити ЕТ?
- г) Колико станова може да се прикључи на НН кабловски вод (извод у ТС) типа РР00-ASJ или ХР00-AS, пресека $3 \times 150 + 70 \text{ mm}^2$, односно СКС Х00/О-А пресека $3 \times 70 + 54,6 \text{ mm}^2$, и то у 2001.-ој години и 5 и 10 година иза прикључења вода.

Решење:

- а) Ради се о Типу 3 или Типу 4 стамбеног насеља.

Максимално једновремено оптерећење у години прикључења (2001.) за групу од 200 станова израчунаћемо по обрасцу (1) из тачке 5.2 ТП-146:

$$P_m = 2,86 \cdot n^{0,88} \cdot 1,015^{(t-1990)} = 2,86 \cdot 200^{0,88} \cdot 1,015^{(2001-1990)} = 2,86 \cdot 105,9 \cdot 1,18$$

$$P_m = 357 \text{ kW}; P_{jm} = 1,8 \text{ kW/дом.}$$

До истог резултата брже и "комфорније" долазимо коришћењем програма "MAKSOP20", који рачуна и снагу 5 и 10 година иза године прикључења станова на мрежу: 384 kW (1,9 kW/дом) у 2006.-ој години и 414 kW (2,1 kW/дом) у 2011.-ој години. Верзија програма "MAKSOP20", која се уступа кориснику ТП-146, разликује се од предходне по томе што су унети параметри према најновијим техничким препорукама ЕД Србије (посебно у вези дозвољених струјних оптерећења водова и ЕТ-а).

Исти резултат добијамо и коришћењем обрасца (2). Уопште, за $n \leq 50$ израз (1) даје мање вредности за P_m , које су иначе потврђене обимним мерењима у насељима са централним грејањем [1], за $50 < n \leq 1000$ оба обрасца дају практично исте резултате, док за $n > 1000$ израз (2) даје веће вредности, при чему са повећањем броја домаћинства P_{jm} [kW/дом.] тежи засићењу, што је технички логично. Зато је у ТП-146 усвојен принцип да се за случајеве који су предмет разматрања ТП-146 (НН мреже и припадајуће ТС) користи образац (1). Образац (2) може да се користи при прорачуну максималног једновременог оптерећења на нивоу вода 10 kV или 20 kV на који се прикључује преко 500 домаћинства истог типа стамбеног насеља.

- б) При избору инсталисане снаге ЕТ-а треба тежити да у години прикључења на мрежу ЕТ буде оптерећен са најмање 80% своје назначене снаге, што уз фактор снаге од 0,95 износи 304 kW за ЕТ од 400 kVA и 479 kW за ЕТ од 630 kVA. Овај критеријум омогућава економичан рад ЕТ-а и гарантује да за исти број домаћинства не треба повећавати инсталисану снагу ЕТ-а у дужем периоду. Према томе, треба да се одредимо између снаге ЕТ-а од 400 kVA и 630 kVA.

Ако одаберемо ЕТ од 400 kVA, он би се у години прикључења (2001.) био оптерећен са 94% назначене снаге, док би ЕТ од 630 kVA био оптерећен испод 60% назначене снаге.

- в) Одлука о повећању инсталисане снаге ЕТ-а (или изградњи нове ТС) треба да се донесе када оптерећење достигне вредност назначене снаге ЕТ-а (тачка 2.3.а), што износи 380 kW за ЕТ од 400 kVA, односно око 600 kW за ЕТ од 630 kVA. Прорачун ћемо извести увршћењем ових вредности у образац (1) из тачке 5.2. Тако за ЕТ од 400 kVA добијамо:

$$380 = 2,86 \cdot 200^{0,88} \cdot 1,015^{(t-1990)} = 2,86 \cdot 105,9 \cdot 1,015^{(t-1990)};$$

$$\lg 1,255 = (t - 1990) \cdot \lg 1,015 ; t = 2005.$$

На исти начин би добили да би одлуку о замени ЕТ-а од 630 kVA требало донети тек 2036.-е године, што је иза (2001+25) године, за коју се предвиђа крај експлоатационог века трајања овог ЕТ-а.

Повећање инсталисане снаге ЕТ-а (замена) мора да уследи када оптерећење нарасте 30% изнад назначене снаге (тачка 2.5.1 ТП-14б), што за ЕТ од 400 kVA износи 494 kW, односно 779 kW за ЕТ од 630 kVA. Годину обавезне замене ЕТ-а од 400 kVA добијамо из израза (1):

$$494 = 2,86 \cdot 200^{0,88} \cdot 1,015^{(t-1990)} = 2,86 \cdot 105,9 \cdot 1,015^{(t-1990)}$$

одакле се добија: $t = 2009$.-а година, што значи да би ЕТ од 400 kVA, ако је уграђен 2001.-е године, требало да буде замењен после 8 година експлоатације.

Са друге стране, уградњом ЕТ-а од 630 kVA не само да не би требало вршити замену ЕТ-а до краја експлоатационог века ЕТ-а у трајању од 25 година, већ би ЕТ за све то време "зврјао празан". Оптерећење на крају експлоатационог века трајања биће:

$$P_{mk} = 2,86 \cdot 200^{0,88} \cdot 1,015^{(2001+25-1990)} = 518 \text{ kW},$$

што значи да би ЕТ од 630 kVA "завршио каријеру" 2026.-те године са свега 87% назначене снаге.

Из претходне анализе закључујемо да је за напајање 200 домаћинстава са централним грејањем економичније одабрати ЕТ инсталисане снаге 400 kVA и после 8 година експлоатације заменити га ЕТ-ом од 630 kVA. Опредељење за ЕТ снаге 630 kVA било би оправдано ако се у посматраном периоду поуздано очекује прикључење више од 200 домаћинстава, ако се планира делимично резервирање напајања конзума суседних ТС 10/0,4 kV, ако се појави више потрошача "мале привреде" итд

- г) Број станова који може да се прикључи на кабловски НН вод рачунамо из услова (препоруче) да оптерећење кабла у години прикључења износи 80% дозвољеног оптерећења кабловског вода (тачка 5.4).

Дозвољено струјно оптерећење кабловског вода I_{doz} рачуна се према изразу (поглавље 25. у ТП-3):

$$I_{doz} = k_{op} \cdot k_{et} \cdot k_{pt} \cdot k_{bk} \cdot I_{nd}$$

где су: k_{op} , $k_{\theta t}$, k_{pt} и k_{bk} сачиниоци промене дозвољеног струјног оптерећења кабловског вода од фактора оптерећења, температуре тла θ_t , специфичне топлотне отпорности тла ρ_t и броја каблова b_k у рову.

Сачинилац k_{op} износи: $k_{op} = 0,75$ за стално (индустријско) оптерећење и $k_{op} = 1$ за променљиво (дистрибутивно) оптерећење.

Сачинилац $k_{\theta t}$ рачуна се према изразу: $k_{\theta t} = 1 + 0,007 \cdot (20 - \theta_t)$. Просечна дневна температура тла на дубини полагања кабла у зимском периоду износи $\theta_t \approx 5^\circ\text{C}$, па сачинилац $k_{\theta t}$ износи: $k_{\theta t} = 1,105$.

Специфична топлотна отпорност тла ρ_t зависи од врсте тла (шљунак, песак, земља из откопа итд.) и садржаја воде у тлу у току године. У време максималног годишњег оптерећења дистрибутивног конзума (зимски период) рачуна се са нормалном влажношћу тла и тада је: $\rho_t \approx 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ ($k_{pt} = 1$), осим за доминантно песковито тло када је $\rho_t \approx 1,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ и тада је $k_{pt} \approx 0,86$. У случају примене специјалне мешавине за постелицу кабла је $\rho_{isp} = 0,7 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ и тада је $k_{pt} = 1,14$.

Сачинилац k_{bk} од броја положених водова b_k у рову на међусобном удаљењу $a = 0,07 \text{ m}$ добија се из наредне табеле:

Број каблова у рову b_k	1	2	4	6	8	10
k_{bk}	$a = 0,07 \text{ m}$	1	0,82	0,66	0,59	0,52

Назначену вредност дозвољеног струјног оптерећења I_{nd} даје произвођач кабла за референтне услове: температура тла $\theta_t = 20^\circ\text{C}$, специфична топлотна отпорност тла $\rho_t = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$, дубина полагања $h = 0,7 \text{ m}$, дистрибутивно оптерећење ($k_{op} = 1$), један кабловски вод у рову, табела 2.5.2 у ТП-146.

У ТС X/0,4 kV има 8 извода НН. Анализираћемо "типско" решење када се каблови по изласку из ТС гранају у два смера, тако да је у истом рову $b_k = 4$ кабла. Из предходне табеле добијамо: $k_{bk} = 0,66$ тако да дозвољено струјно оптерећење I_{dozz} сваког од 4 кабла у рову за кабл пресека $150 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ ($I_{nd} = 270 \text{ A}$, табела 2.5.2) износи:

$$I_{dozz} = k_{op} \cdot k_{\theta t} \cdot k_{pt} \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} = 1 \cdot 1,105 \cdot 1 \cdot 0,66 \cdot 270 = 197 \text{ A}$$

$$P_m = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{dozz} \cdot \cos \varphi = 1,73 \cdot 0,38 \cdot 197 \cdot 0,95 = 123 \text{ kW},$$

$$\text{или у години активирања вода: } P_{ma} = 0,8 \cdot 123 = 98,4 \text{ kW}.$$

Увршћењем ове вредности у израз 5.2 добијамо:

$$98,4 = 2,86 \cdot n^{0,88} \cdot 1,015^{(2001-1990)}$$

одакле добијамо да се у 2001.-ој години може да прикључи $n_a = 47$ станова. На аналоган начин се прорачунава и број домаћинстава који може да се прикључи на овај кабл у 2006.-ој и 2011.-ој години. У овом случају ћемо, наравно, да користимо програм "MAKSOP20".

Како је дозвољено струјно оптерећење кабла са UPE изолацијом за око 10% веће од оптерећења кабла са PVC изолацијом (без опасности од исушивања тла), у истом односу је већи и број домаћинстава који под

једнаким осталим условима (пресек, услови полагања) може да се прикључи на кабл XP00-ASJ.

Дозвољено оптерећење надземног вода изведеног СКС-ом (види поглавље 11. у ТП-8) пресека 70 mm^2 у зимском периоду износи (табела 2.5.2):

$$I_{\text{dozZ}} = 1,55 \cdot I_{\text{nd}} = 1,55 \cdot 198 = 307 \text{ A} ; (\approx 192 \text{ kW}).$$

Према томе, у години активирања (2001.-а) СКС вод може да се оптерети снагом: $P_{\text{ма}} = 0,8 \cdot 192 = 154 \text{ kW}$.

Коришћењем програма "MAKSOP20" добијамо да овој снази за Тип 3 или Тип 4 одговара: $n_a = 77$ домаћинства, док максимално дозвољеној снази од 192 kW одговара: $n_m = 99$ домаћинства.

Резултати прорачуна дати су у табели Пр.1.

Табела Пр.1: Број домаћинства прикључен на вод, Тип 3 и Тип 4

Врста вода	Кабл PP00-ASJ 3x150+70 mm ²						СКС 70 mm ²		
Број каблова у рову b_k	1		2		4				
Коеф. полагања каблова k_{bk}	1		0,82		0,66				
Број домаћинства [n]	t	n_a	n_m	n_a	n_m	n_a	n_m	n_a	n_m
	2001	75	96	60	77	47	60	77	99
	2006	69	88	55	71	43	55	71	91
	2011	63	81	50	65	40	51	65	84
n_a - број домаћинства при активирању ТС n_m - број домаћинства при максималном годишњем оптерећењу									

Пример бр. 2:

За свих 7 типова стамбених насеља у зависности од броја домаћинства која се прикључују на неки објекат НН мреже (ТС 10(20)/0,4 kV или НН извод у ТС), одредити:

- Снагу са којом учествује свако домаћинство у укупном максималном једновременом оптерећењу одређеног типа стамбеног насеља;
- Укупна максимална годишња једновремена оптерећења групе станова са "n" домаћинства.

Решење:

Цео прорачун извешћемо помоћу програма "MAKSOP20".

- У табели Пр.2.а дати су резултати прорачуна учешћа сваког домаћинства у укупном максималном годишњем једновременом оптерећењу.
- У табели Пр.2.б дати су резултати прорачуна максималног годишњег једновременог оптерећења.

Табела Пр.2.а: Учешће максималне једновремене снаге домаћинства

P _m [kW/дом] - Тип 1 и Тип 2													
t	n	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
	2000	4,8	4,5	4,4	4,3	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4	4
	2005	4,9	4,7	4,5	4,5	4,4	4,3	4,3	4,3	4,2	4,2	4,2	4,1
	2010	5,1	4,9	4,7	4,6	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3
P _m [kW/дом] - Тип 3 и Тип 4													
t	2000	2,3	2,1	2	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7
	2005	2,4	2,2	2,1	2,1	2	2	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
	2010	2,6	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2	2	2	2	1,9
	P _m [kW/дом] - Тип 5												
t	2000	4,2	3,9	3,8	3,7	3,6	3,6	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4
	2005	4,3	4,1	3,9	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5
	2010	4,5	4,2	4,1	4	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7
	P _m [kW/дом] - Тип 6												
t	2000	3,2	3	2,9	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6				
	2005	3,4	3,2	3	3	2,9	2,8	2,8	2,8				
	2010	3,6	3,3	3,2	3,1	3	3	2,9	2,9				
	P _m [kW/дом] - Тип 7												
		2,4	2,2	2,2	2,1	2	2	2	2				

Табела Пр. 2.6 Максимално годишње једновремено оптерећење

P _m [kW] - Тип 1 и Тип 2													
t	n	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
	2000	119	226	330	431	531	629	727	824	920	1016	1111	1206
	2005	124	234	341	446	548	650	751	851	950	1049	1147	1245
	2010	128	243	353	461	568	673	777	880	983	1085	1186	1287
P _m [kW] - Тип 3 и Тип 4													
t	2000	56	104	148	191	232	273	313	352	390	428	465	502
	2005	61	112	160	206	250	294	337	379	420	461	501	541
	2010	65	120	172	222	270	317	363	408	452	496	540	583
	P _m [kW] - Тип 5												
t	2000	104	196	284	369	454	537	619	701	781	862	941	1021
	2005	109	204	295	384	472	558	643	728	812	895	977	1059
	2010	113	212	308	400	491	581	669	757	844	930	1016	1101
	P _m [kW] - Тип 6												
t	2000	80	150	216	280	343	405	466	526				
	2005	85	158	227	295	361	426	490	553				
	2010	89	166	240	311	380	449	516	582				
	P _m [kW] - Тип 7												
		61	112	162	209	256	301	346	390				

Пример бр. 3:

У "старом" делу великог града гради се ТС X/0,4 kV инсталисане снаге 630 kVA. На ову ТС планира се прикључење 150 станова, и то: стамбена зграда са 50 станова са централним грејањем из локалне котларнице, као и 90 станова са 100 домаћинстава код којих није тачно утврђен начин загревања стамбених просторија (ТА пећи, гас, угаљ итд.).

- Одредити максимално једновремено оптерећење ове групе станова у 2002.-ој години, када се ТС прикључује на мрежу.
- Колико се највише домаћинстава са нерегулисаним начином загревања стамбених просторија, која се у нормалним условима напајају из суседних ТС, може прикључити на ову ТС у хаваријским условима?

Решење:

- Максимално једновремено оптерећење групе од 50 домаћинстава са централним грејањем добијамо директно на рачунару преко програма "MAKSOP20", а "ручно" из израза 5.2: $P_{m1} = 107 \text{ kW}$.

Група од 90 станова са $n = 100$ домаћинстава са нерегулисаним начином загревања стамбених просторија ангажује снагу (израз 3.2):

$$P_{m2} = 100 \cdot 3,5 \cdot \left[0,65 + \frac{0,35}{\sqrt{100}} \right] + 2,86 \cdot 100^{0,88} \cdot 1,015^{12} = 437 \text{ kW}$$

Укупно максимално једновремено оптерећење групе од 140 станова са 150 домаћинстава биће: $P_m = 107 + 437 = 544 \text{ kW}$, што значи да ће у години прикључења (2002.-а) ЕТ бити оптерећен са око 91% назначене снаге, што је у границама оптималног решења (тачка 3.4).

- У зимском периоду ЕТ инсталисане снаге 630 kVA може да се оптерети снагом 779 kW (тачка 2.5.1). Од те снаге ангажује се 107 kW за напајање 50 домаћинстава са централним грејањем, тако да преостаје 672 kW за напајање домаћинстава Типа 1 или 2. Коришћењем програма "MAKSOP20" добијамо да овој снази одговара: $n_m = 159$ домаћинстава. Када од овог броја одуземо 100 домаћинстава која се у нормалном погону напајају из "своје" ТС, преостаје 59 домаћинстава суседних ТС којима може да се пружи помоћ у хаваријским условима.

Пример бр. 4:

За све типове стамбених насеља утврдити оптималан и максималан број домаћинстава који може да се прикључи на неки објект НН мреже (ТС 10(20)/0,4 kV или НН вод).

Решење:

Прорачун ћемо извести на рачунару, уз помоћ програма "MAKSOP20", из услова:

а) За ЕТ-е:

- број домаћинства n_a при активирању ТС се рачуна према 90% назначене снаге ЕТ-а за Тип 7 и 80% за остале типове;
- максималан број домаћинства n_m се рачуна према 130% назначене снаге ЕТ-а.

Резултати прорачуна дати су у табели Пр.4.а.

б) За НН вод:

- број домаћинства n_a при активирању вода се рачуна према 90% вредности дозвољеног струјног оптерећења вода за Тип 7 и 80% за остале типове;
- максималан број домаћинства n_m се рачуна према 110,5% вредности дозвољеног струјног оптерећења вода за подземни кабл, 155% за надземни вод изведен СКС-ом и 190% за надземни вод изведен голим АИ/Џ ужадима.

Резултати прорачуна дати су у табели Пр.4.61 за кабловски вод и у табели Пр.4.62 за надземни вод изведен СКС-ом или АИ/Џ ужетом.

Табела Пр.4.а Број домаћинства [n] који може да се прикључи на ТС 10(20)/0,4 kV

S_n [kVA]	100	250	400	630	1000						
P_a [kW]	76	190	304	479	760						
P_{mET} [kW]	124	309	494	779	1235						
Тип 1 и Тип 2											
	t	n_a	n_m	n_a	n_m	n_a	n_m	n_a	n_m	n_a	n_m
[n]	2000			42	70	69	116	113	189	184	308
	2005			40	68	67	112	109	182	178	298
	2010			39	65	64	108	105	176	171	288
Тип 3 и Тип 4											
[n]	2000	36	61	100	173	170	295	285	494		
	2005	33	56	92	159	156	271	262	454		
	2010	30	52	84	146	144	249	240	417		
Тип 5											
[n]	2000			49	83	81	138	133	224	219	369
	2005			47	79	78	132	128	215	210	354
	2010			45	76	75	126	122	207	201	340
Тип 6											
[n]	2000	24	41	66	112	110	187	181	308		
	2005	23	39	62	106	104	177	171	291		
	2010	21	36	58	100	98	167	162	276		
Тип 7											
[n]		37	56	103	155	173	260				

Табела Пр.4.6.1: Број домаћинстава [n] који може да се прикључи на кабловски вод РР00 - АSЈ

Пресек	95 mm ²				150 mm ²				240 mm ²				
	1		4		1		4		1		4		
b _k	1		0,66		1		0,66		1		0,66		
k _{hk}	1		0,66		1		0,66		1		0,66		
n	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	
Тип 1 и Тип 2													
t	2000	25	32	16	20	32	41	21	26	43	55	28	35
	2005	24	30	15	19	31	40	20	25	42	53	27	34
	2010	23	29	15	19	30	38	19	24	40	51	26	33
Тип 3 и Тип 4													
t	2000	58	74	36	46	76	98	48	61	103	133	65	83
	2005	53	68	33	43	70	90	44	56	95	122	60	77
	2010	49	63	31	39	64	83	40	52	87	113	55	70
Тип 5													
t	2000	29	37	18	23	38	48	24	30	51	64	32	41
	2005	27	35	18	22	36	46	23	29	48	62	31	39
	2010	26	33	17	21	34	44	22	28	46	59	29	38
Тип 6													
t	2000	38	49	24	31	50	64	32	41	68	87	43	55
	2005	36	46	23	29	47	61	30	38	64	82	41	52
	2010	34	44	22	28	45	57	28	36	60	77	38	49
Тип 7													
за Тип 7 не користи се кабловска мрежа													

Табела Пр.4.6.2 Број домаћинстава [n] који може да се прикључи на надземни НН вод

Тип	СКС						Al/č						
	70 mm ²		35 mm ²		25 mm ²		70 mm ²		50 mm ²		35 mm ²		
n	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	n _a	n _m	
Тип 1 и Тип 2													
t	2000	33	42	21	27	17	22	50	63	35	45	30	38
	2005	32	41	21	26	17	21	48	61	34	43	29	36
	2010	31	39	20	25	16	20	46	59	33	41	27	35
Тип 3 и Тип 4													
t	2000	78	101	49	63	40	51	120	154	83	107	69	89
	2005	72	93	45	58	36	47	110	142	76	98	64	82
	2010	66	85	42	54	34	43	101	130	70	90	59	75
Тип 5													
t	2000	39	49	25	32	20	26	58	74	41	52	34	44
	2005	37	47	24	30	19	24	56	71	39	50	33	42
	2010	35	45	23	29	18	23	53	68	37	48	31	40
Тип 6													
t	2000	52	66	33	42	27	34	78	100	55	70	46	59
	2005	49	63	31	40	25	32	74	94	52	66	43	56
	2010	46	59	29	37	24	30	70	89	49	62	41	52
Тип 7													
		81	91	51	58	41	47	123	138	86	97	72	81

Пример бр.5:

За подручје "Електродистрибуције Београд" кретање вршне снаге и енергије у току 51.-годишњег периода дато је у табели Пр.5.1.

Табела Пр.5.1: Потрошња конзумног подручја ЕДБ

Р. број	Година	Вршна снага [MW]	Активна енергија [MWh]
1	1950.	39	132379
2	1951.	38	132171
3	1952.	38	128569
4	1953.	42	137470
5	1954.	47	151362
6	1955.	57	179713
7	1956.	70	209113
8	1957.	81	300919
9	1958.	92	424575
10	1959.	108	497658
11	1960.	118	508430
12	1961.	134	589077
13	1962.	151	699867
14	1963.	183	827722
15	1964.	193	951600
16	1965.	202	1016926
17	1966.	230	1086709
18	1967.	247	1223928
19	1968.	296	1425254
20	1969.	328	1599582
21	1970.	379	1795447
22	1971.	416	1959800
23	1972.	461	2158656
24	1973.	463	2343127
25	1974.	531	2517245
26	1975.	586	2628943
27	1976.	638	2850485
28	1977.	676	3086060
29	1978.	699	3364455
30	1979.	754	3464279
31	1980.	836	3837107
32	1981.	891	3858101
33	1982.	897	4068523
34	1983.	940	4061595
35	1984.	999	4308383
36	1985.	1059	4665713
37	1986.	1158	4948321
38	1987.	1172	5113608
39	1988.	1144	5112447
40	1989.	1175	5069211
41	1990.	1269	5128646
42	1991.	1348	5599785
43	1992.	1453	5543178
44	1993.	1489	5867616
45	1994.	1475	6051020
46	1995.	1479	6357059
47	1996.	1614	6665158
48	1997.	1618	6738980
49	1998.	1645	6749148
50	1999.	1653	6479672
51	2000.	1649	6572107

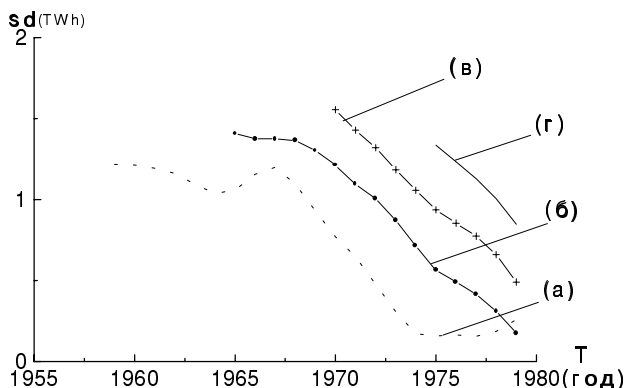
На основу података из табеле Пр.5.1 одабрати оптималан историјски период и на основу њега извршити прогнозу:

- преузете електричне енергије, према тачки 9.2, израз (1) у ТП-4а;
- вршне снаге, према тачки 9.3, израз (5) независном (екстраполационом) методом за последњих 20 година;
- на основу прогнозе израчунати вршну снагу и преузету енергију у 2001. години.

Решење:

а) Дужина историјског периода може да се одабере на основу анализе тренда стандардне девијације sd (TWh) за прогнозни период у времену, за различите дужине историјског периода, и то: 10, 15, 20 и 25 година. При томе се пореде стандардне девијације за исти прогнозни период од 20 година, нпр. од 1960. до 1979. при различитим дужинама историјског периода са истом последњом годином, у овом случају 1959. Пошто расположиви комплет података из табеле 1 обухвата 51 годину, у случају 10. - годишњег историјског периода, имаће се 21 тачка на дијаграму промене стандардне девијације. Наиме, прва тачка добиће се за историјски период 1950-1959. и прогнозни период 1960-1979, а последња за историјски период 1971-1980. и прогнозни период 1981 - 2000: $51 - (10+20) = 21$. Аналогно, за дужине историјског периода 15, 20, 25 година, број тачака је 16, 11, 6, респективно.

На слици 1 приказан је овај тренд.



(а) - дужина историјског периода 10 година

(б) - дужина историјског периода 15 година

(в) - дужина историјског периода 20 година

(г) - дужина историјског периода 25 година

T - Последња година историјског периода

Слика 1: Промена стандардне девијације за прогнозни периоду времену при различитим дужинама историјског периода

У циљу одређивања објективног критеријума за избор дужине историјског периода уводи се фактор F , који уважава стандардну девијацију из најближег историјског периода са највећим тежинским коефицијентом, а стандардну девијацију из најдаљег историјског периода са најмањим тежинским коефицијентом. При томе тежински коефицијенти формирају геометријску прогресију $(1/2)^n$. Фактор F дефинисан је релацијом:

$$F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M p_i \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^M p_i}}$$

где је:

M - број узорака (број стандардних девијација за прогнозни период)

p_i - тежински коефицијент уз i - ту вредност стандардне девијације σ_i ($p_i=1, 1/2, 1/4, \dots$)

σ_i - стандардна девијација за i - ти прогнозни период.

У табели Пр.5.2 дате су израчунате вредности фактора F, при чему је број M, ради упоредивости, у свим случајевима као при историјском периоду од 25 година једнак 6, за период 1975-1980.

Табела Пр.5.2.: Коефицијент F за различите дужине историјског периода

Историјски период	F (MWh)
25	847459,6
20	505776,4
15	234310,5
10	221457,3

Како се види из табеле Пр.5.2, коефицијент F је најмањи за десетогодишњи историјски период, који је, према томе, оптималан.

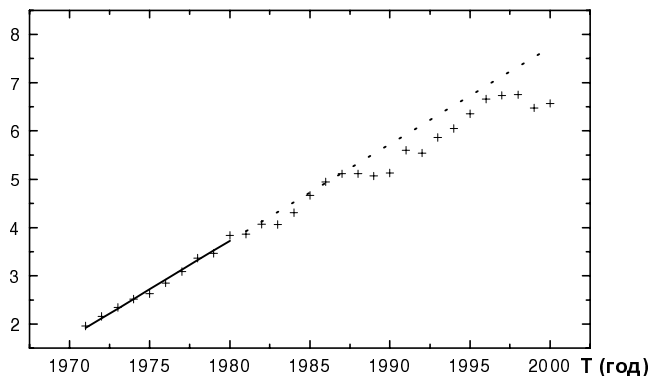
Права добијена на основу података из периода 1971-1980. год, која важи за прогнозни период 1981-2000. год, је:

$$W_t = (2,004 \cdot t + 17,19) \times 10^5 \text{ (MWh)} \tag{1}$$

где је $t = 11$ за прву годину прогнозног периода.

На слици 2 су приказане прогнозиране и остварене вредности електричне енергије за историјски период 1971-1980. год и прогнозни период 1981-2000. год.

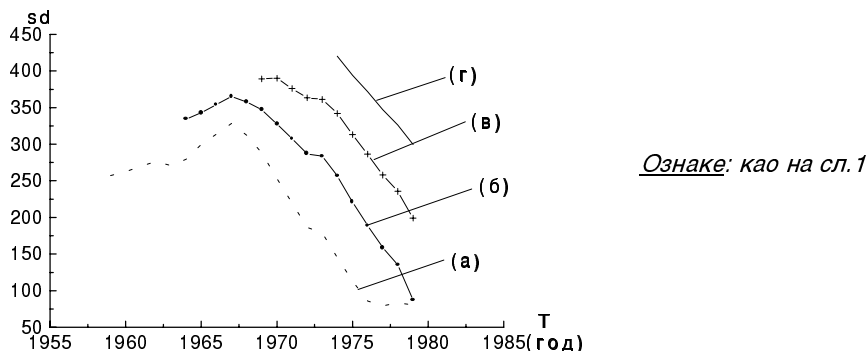
E (TWh)



Ознаке на слици: пуна линија – историјски период; испрекидана линија - прогнозни период; "+" - измерене вредности

Слика 2: Прогнозиране и остварене вредности ел. енергије

б) Дужина историјског периода се бира, као у примеру а), на основу анализе тренда стандардне девијације sd (MW) за прогнозни период у времену за различите дужине историјског периода, и то: 10, 15, 20 и 25 година. На слици 3 приказан је овај тренд.



Слика 3 - Промена стандардне девијације за прогнозни период у времену при различитим дужинама историјског периода

И овде се, као у примеру а) рачуна фактор F , чије су вредности дате у табели Пр.5.3.

Табела Пр.5.3: Коефицијент F за различите дужине историјског периода

Историјски период	F (MW)
25	323,1
20	23,0
15	128,7
10	84,2

Како се види из табеле Пр.5.3, коефицијент F је најмањи за десетогодишњи историјски период, који је, према томе, оптималан.

Права добијена на основу података из периода 1971-1980. год је:

$$P_t = 45,442 \cdot t + 356,067 \text{ (MW)} \tag{2}$$

где је $t=11$ за прву годину прогнозног периода.

На слици 4 су приказане прогнозиране и остварене вредности за историјски период 1971-1980. год и прогнозни период 1981-2000. год.

в) У примеру б) показано је да је оптимална дужина историјског периода за прогнозу снаге и енергије 10 година.

Права добијена на основу података из периода 1991-2000. год. је:

$$P_t = 33,036 \cdot t + 1360,62 \text{ (MW)} \tag{3}$$

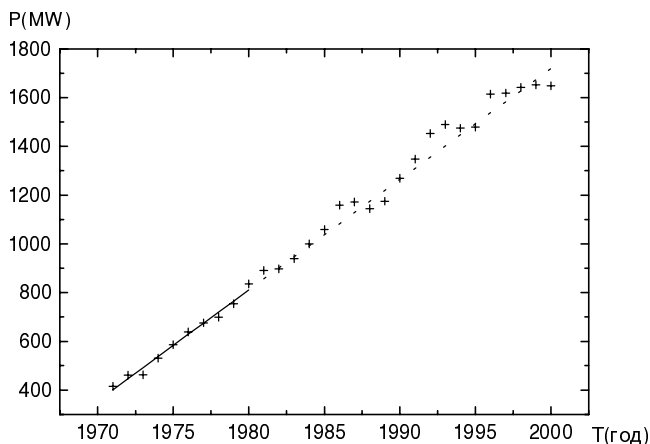
где је $t=11$ за прву годину прогнозног периода.

Према томе, прогноза вршне снаге за 2001. је:

$$P_t \approx 33 \cdot t + 1361 = 33 \cdot 11 + 1361 = 1724 \text{ MW,}$$

а за енергију:

$$W_t = (1,34 \cdot t + 55,26) \cdot 10^5 = (1,34 \cdot 11 + 55,28) \cdot 10^5 \approx 7000 \text{ GWh.}$$



Ознаке на слици: пуна линија – историјски период; испрекидана линија - прогнозни период; "+" - измерене вредности

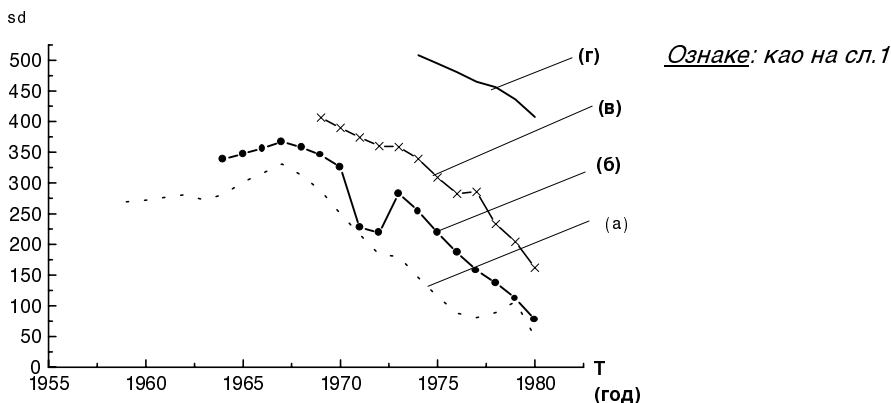
Слика 4: Прогнозиране и остварене вредности снаге

Пример бр. 6:

За податке из примера 5 одабрати оптималан историјски период и на основу њега извршити прогнозу вршне снаге на основу прогнозиране енергије према тачки 9.3, израз (6) у ТП-14а, екстраполационом методом за последњих 20 година.

Решење:

Дужина историјског периода може да се одабере, као у примеру а), на основу анализе тренда стандардне девијације sd за прогнозни период у времену за различите дужине историјског периода и то: 10, 15, 20 и 25 година. На слици 5 приказан је овај тренд.



Слика 5: Анализа тренда стандардне девијације за прогнозни период

И овде се, као у примеру а) рачуна фактор F , чије су вредности дата у табели Пр.6.

Како се види из табеле Пр.6, коефицијент F је најмањи за десетогодишњи историјски период, који је према томе оптималан.

Табела Пр.6: Коефицијент F за различите дужине историјског периода

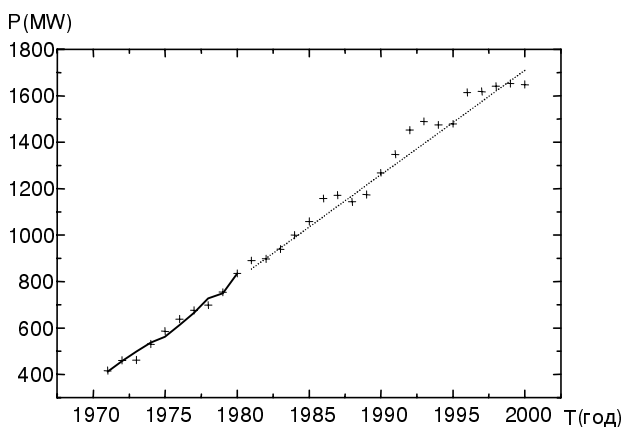
Историјски период	F (MW)
25	428,9
20	200,3
15	109,7
10	70,7

Права добијена на основу података из периода 1971-1980. год је:

$$P_{W_t} = 2,249 \cdot 10^{-4} \cdot W_t - 28,462 \text{ (MW)} \quad (4)$$

где је W_t (MWh) за период 1981-2000. прогнозирана вредност на основу праве (2), а за период од 1971. до 1980. је остварена вредност.

На слици 6 су приказане прогнозиране и остварене вредности снаге за историјски период 1971-1980. год и прогнозни период 1981-2000. год.



Ознаке на слици: пуна линија – историјски период; испрекидана линија - прогнозни период; "+" - измерене вредности

Слика 6: Прогнозиране и остварене вредности снаге

Пример бр. 7:

На потрошачком подручју једне ТС 110/10 kV има $d_t = 10.000$ домаћинстава. Број домаћинстава расте по стопи од 1% годишње. Годишња потрошња електричне енергије по домаћинству за претходних 30 година дата је у табели Пр.7.

Табела Пр.7: Годишња потрошња електричне енергије по домаћинству

Година	1970.	1980.	1990.	2000.
W_{td} [kWh/dom, god]	2893	4436	4639	6626

Потрошња малих индустријских потрошача на ниском напону износи 15% потрошње домаћинстава и расте по стопи од 2% годишње. На разматраном подручју нема великих индустријских потрошача. Извршити прогнозу потрошње електричне енергије овог подручја за период од 20 година, по зависној (корелационој) методи.

Решење:

Потрошња просечног домаћинства на крају периода посматрања t одређује се корелационом методом помоћу израза (9) у тачки 9.4.1 ТП-14а:

$$W_{tdt} = W_{td(t-1)} \cdot e^{\frac{n_t}{T} \cdot \ln \frac{W_{grd}}{W_{td(t-1)}}} = W_{td(t-1)}^{\frac{T-n_t}{T}} \cdot W_{grd}^{\frac{n_t}{T}}$$

Гранична вредност годишње потрошње просечног домаћинства према табели 9.4 износи: $W_{grd} = 13.450$ kWh/dom, док је T дужина временског периода за који би потрошња просечног домаћинства, уз константну стопу раста, достигла граничну вредност W_{grd} .

У нашем примеру је број година посматраног периода: $n_t = 10$, па на основу података из табеле Пр.7 за три посматрана десетогодишња периода добијамо једнакости:

$$4436 = 13450^{\frac{10}{T}} \cdot 2893^{\frac{T-10}{T}},$$

$$4639 = 13450^{\frac{10}{T}} \cdot 4436^{\frac{T-10}{T}},$$

$$6626 = 13450^{\frac{10}{T}} \cdot 4639^{\frac{T-10}{T}}.$$

Вредност T која задовољава све три једнакости уз минимум одступања је $T=30$ година, и тада ће просечна потрошња у домаћинствима достићи граничну вредност: $W_{grd} = 13.450$ kWh.

Имајући у виду да ће у посматраном периоду број домаћинстава да расте по стопи од 1%, прогнозирана потрошња електричне енергије у домаћинствима ће се мењати по релацији:

$$W_{tdt} = d_t \cdot \left(1 + \frac{p_{dt}}{100}\right)^{n_t} \cdot W_{td(t-1)}^{\frac{T-n_t}{T}} \cdot W_{grd}^{\frac{n_t}{T}} = 10000 \cdot 1,01^{n_t} \cdot \left(6626^{\frac{30-n_t}{30}} \cdot 13450^{\frac{n_t}{30}}\right).$$

Графички приказ предходне релације дат је на сл.7 - доња крива.

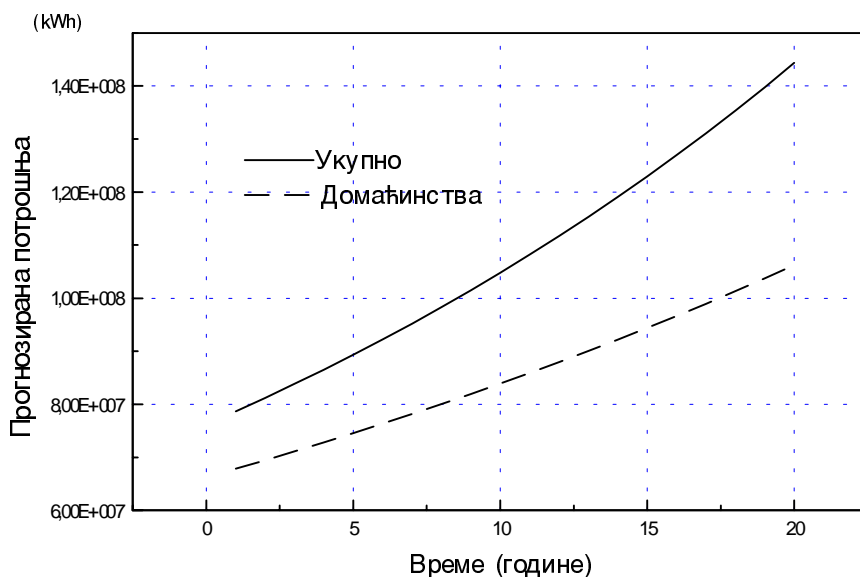
Потрошња у индустрији W_{int} износи 15% потрошње у домаћинствима, са стопом раста од 2% годишње, па прогнозирана потрошња ове категорије може да се изрази изразом:

$$W_{int} = 0,15 \cdot d_t \cdot W_{td(d-1)} \cdot \left(1 + \frac{p_{in}}{100}\right)^{n_t} = 0,15 \cdot 10000 \cdot 6626 \cdot 1,02^{n_t}$$

Укупна потрошња W_{ut} посматраног конзумног подручја износи:

$$W_{ut} = W_{tdt} + W_{int}$$

Графички приказ предходне релације дат је на сл.7 - горња крива.



Слика 7: Прогноза потрошње по зависној (корелационој) методи

Литература:

- 1 Мирко Јеличић и сарадници: "Упутство код планирање, пројектовања, изградње и експлоатације електричних мрежа 0,4 kV и ТС 10/0,4 kV на конзуму ЕДБ", Београд, 1986. година
- 2 Срђо Мрђа: Методологија и критеријуми за планирање преносне мреже ЕПС-а. Студија, 2000. година.
- 3 Техничке препоруке ЕД Србије.