

GRADIVO B-3

Možnosti uporabe odpadne toplote in geotermalne toplote za sisteme DOT



Inštitut za daljinsko energetiko

Direktor:

Miran Zager

VSEBINA:

- **A-1: Optimiranje temperatur delovanja sistemov daljinskih ogrevanj**
- **A-2: Analize energetske izgub v sistemih DOT**
- **A-3: Prehod na pametne sisteme DOT**
- **A-5: Možnosti za optimizacije sistemov DOT**
- **B-3: Uporaba odpadne toplote in geotermalne toplote za potrebe sistemov DOT**
- **D-1: Ukrepi za izboljšanja organizacije upravljanja sistemov DOT**
- **E-1: Možni ukrepi za povečanje privlačnosti sistemov DOT**

Podrobneje opisana tema izobraževanja

Možnosti uporabe odpadne toplote in geotermalne toplote za sisteme DOT

Pomembnost izbrane teme za operaterje DS (1 najmanj, 5 največ)

4,1

- Odpadna toplota v železarnah
- Odpadna toplota v termoelektrarnah
- Odpadna toplota v nuklearni elektrarni
- Odpadna toplota iz prezračevanja premogovnika
- Odpadna toplota iz kopalni PV
- Odpadna toplota v živilski industriji
- Površinska geotermalna toplota jezer ŠD

Nekaj UVODNIH RAZMIŠLJANJ

Izkoriščanje odpadne toplote predstavlja je eden glavnih izzivov energetikov. Vsaka izkoriščena kilovatna ura iz **odpadne** toplote ima izjemne učinke pri zniževanju emisij toplotgrednih plinov (TGP) in pri varčevanju primarne energije.

Vir: www.kronoterm.si

Izkoriščanje odpadne toplote kot toplotnega vira za ogrevanje predstavlja velik potencial ustvarjanja prihrankov. Najpogosteje se izkorišča odpadna toplota v industriji, kjer je pri proizvodnih ali predelovalnih procesih potreb-no hlajenje ali ogrevanje. (proizvodnja in brizganje plastičnih izdelkov, hlajenje laserjev za razrez, odpadna toplota vode pri predelavi prehrane, čistilne naprave pri katerih se v stene bazenov vgradijo cevi, pralnice, prezračevanje rudniških jaškov, itd.)

Izkoriščanje odpadne toplote je mogoče tako preko zraka, sistem zrak/voda kot preko vode, sistem voda/voda. Tudi v družinskih hišah je na voljo odpadna toplota, ki jo je moč izkoriščati, predvsem pri prezračevanju in tudi pri kanalizaciji. Tovrstno izkoriščanje je redko saj je na voljo običajno zelo malo toplote.

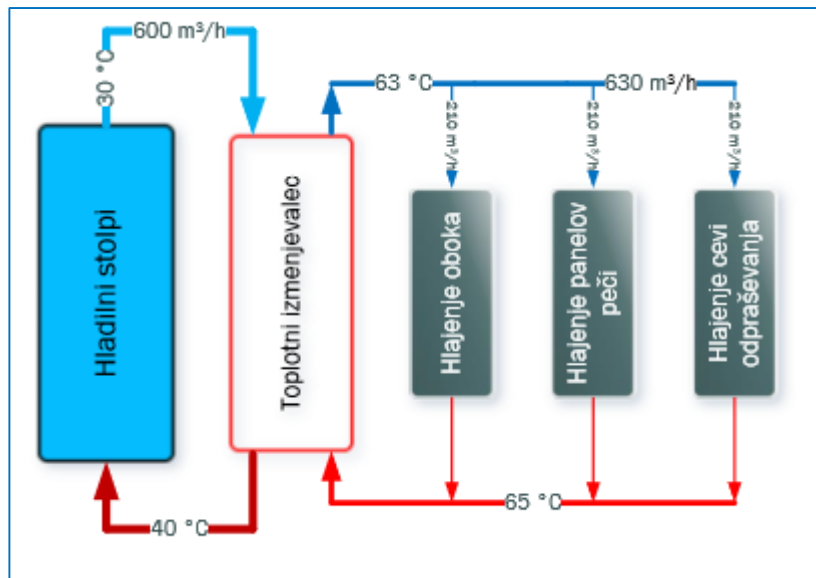
Kot toplotni vir za ogrevanje s toplotno črpalko je moč izkoriščati tudi toploto greznice ali kanalizacije. V tem primeru se cevi podobno kot pri zemeljskem kolektorju vgradijo v stene rezervoarja ali kanalizacijske cevi in povežejo s toplotno črpalko. Ta izvedba predstavlja zelo učinkovit vir, ki investicijsko ni zahteven, potrebno pa je izdelati projekt in preučiti količino energije, ki je na voljo. Pogosta uporaba pri mestnih kanalizacijah, hlevskih greznicah, turističnih objektih in podobno, kjer je na voljo večja količina fekalij.

KORISTNA IZRABA ODVEČNE TOPLOTE JEKLARSKE INDUSTRIJE ZA NAMENE DALJINSKEGA OGREVANJA IN PRIPRAVE SANITARNE TOPLE VODE NA RAVNAH NA KOROSKEM

Miran Fužir
Petrol Energetika, d.o.o.

Kristijan Plesnik
Metal Ravne d.o.o.

Hladilni sistem UHP pred izvedbo projekta



- Preko hladilnega sistema smo 15 – 20 % vložene energije (odvečna toplota s temperaturo 80 °C) odvajali na prosto

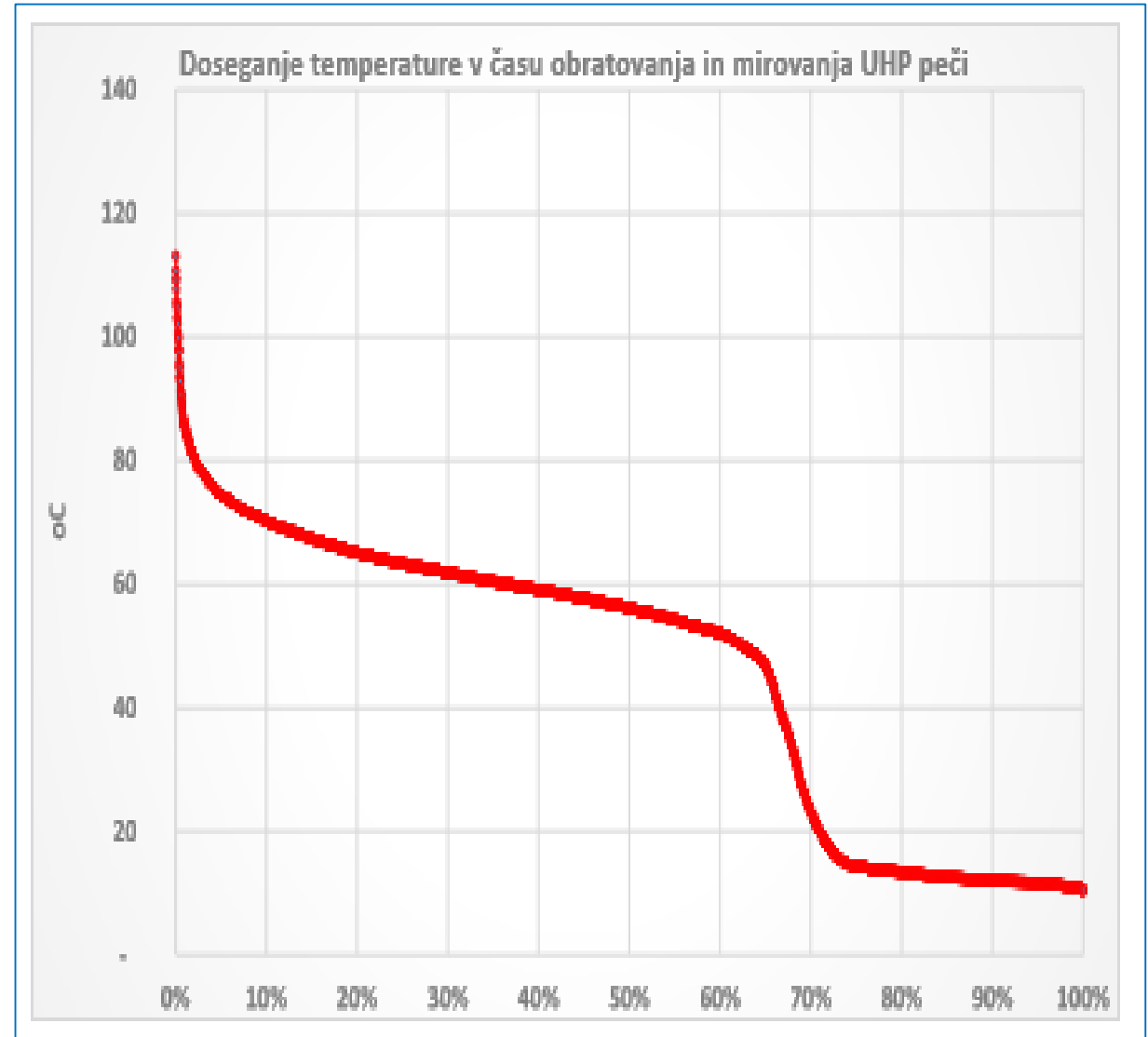
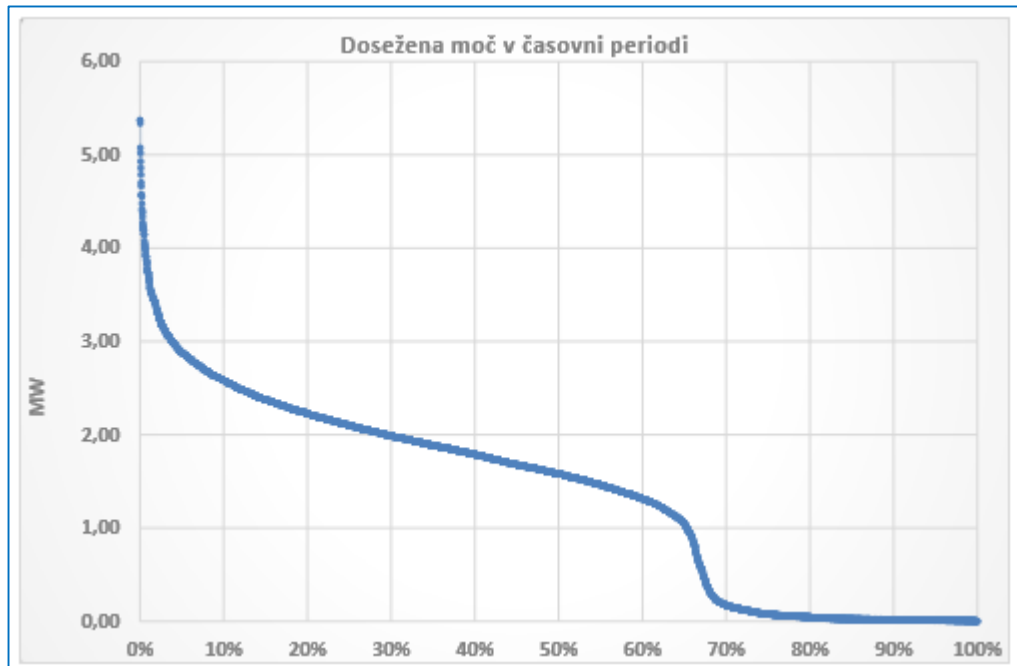
Potencial odvečne toplote na UHP peči

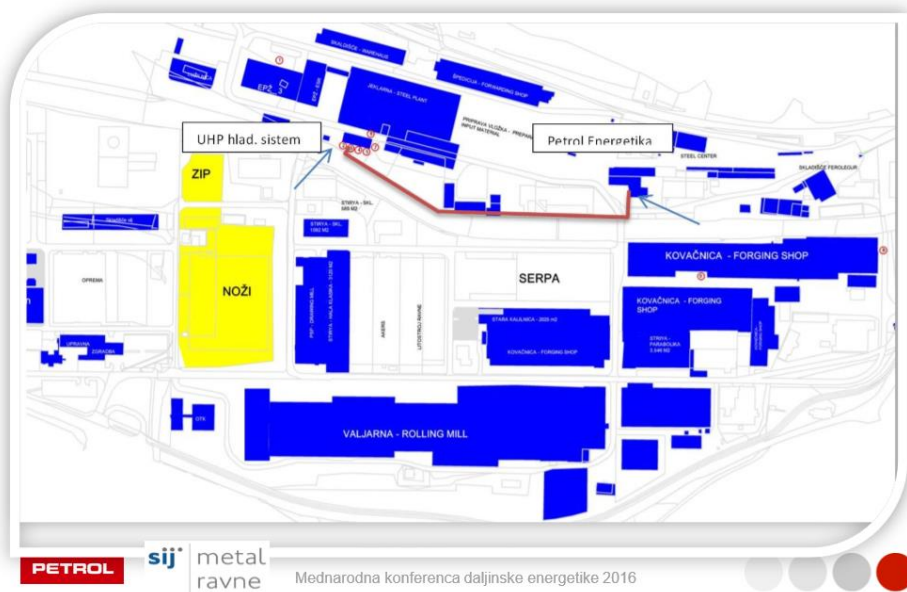
$$Q = 2x \frac{130}{60} = 4,33 \text{ MWh} - \text{razpoložljiva toplota/šaržo}$$

$$Q = 4,33 \times 11 = 47,63 \text{ MWh} - \text{razpoložljiva toplota/delovni dan}$$

$$Q = 47,63 \times 21 = 1.000 \text{ MWh} - \text{razpoložljiva toplota/mesec}$$

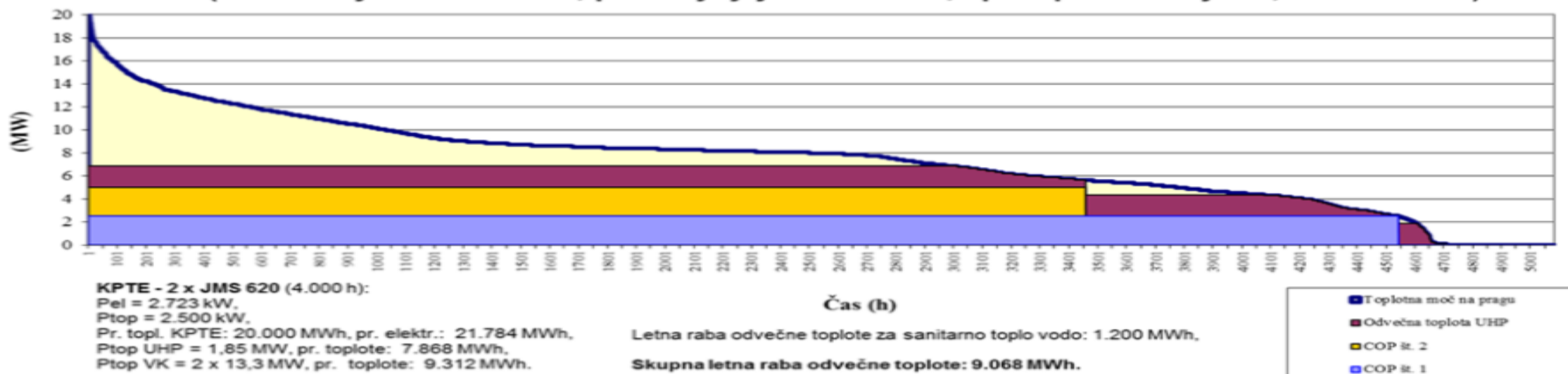
$$Q = 1.000 \times 7 = 7.000 \text{ MWh} - \text{razpoložljiva toplota/leto}$$





- Izvedba projekta potrjuje, da se lahko tudi industrijsko in energetska intenzivna gospodarska okolja razvijajo v sinergiji z lokalno skupnostjo in prispevajo k ohranjanju našega okolja,
- Predstavljeni projekt izkoriščanja odvečne toplote jeklarske industrije, ki je bil na Okoljskem srečanju novembra 2015 tudi nagrajen za okolju prijazno storitev, predstavlja primer odlične prakse tako v slovenskem kot tudi v širšem mednarodnem okolju,
- Po letu 2017 bo imela vsaka druga porabljena MWh koristne daljinske toplote v mestu Ravne izvor v jeklarski industriji, namesto v klasični (konvencionalni) tehnologiji pretvorbe fosilnih goriv,
- Med različnimi možnimi scenariji bodočega obratovanja naše toplarne preverjamo tudi možnost izkoriščanja nizkotemperaturne odvečne toplote jeklarske industrije (temperaturni režim 40/30 stopinj C) preko toplotne črpalke.

**Urejeni diagram toplote pri povprečni kurilni sezoni
(distribucija 37.180 MWh, primanjkljaj 3.380 Kdni, spec. proizvodnja 11,0 MWh/Kdan)**



Največji in neizkoriščeni energetski potencial ODPADNE TOPLOTE v RS, EU in svetu so termoelektrarne in jederske elektrarne

V Sloveniji imamo 4 velike termoenergetske objekte za proizvodnjo električne energije ali sočasno proizvodnjo električne in toplotne energije:

- Termoelektrarno Šoštanj –BLOK 5, P_{te} = 345 MW in P_{tt} =110 MW, hlajenje v hladilnem stolpu 5
- Termoelektrarno Šoštanj – BLOK 6, P_{te} = 600 MW in P_{tt} = 120 MW, hlajenje v hladilnem stolpu 6
- Nuklearno elektrarno Krško, moči 632 MW in P_{tt} = 0,0 MW, hlajenje v reki Savi
- Termoelektrarno toplarno Ljubljana, P_{te} = 124 MW in P_{tt} = 486 MW, hlajenje v reki Ljubljanici in hladilnih stolpih z električnimi ventilatorji

Pri proizvodnji električne energije se za kondenzacijo odpadne pare koristijo hladilni sistemi s hladilno vodo, ki se ohlaja preko hladilnih stolpov z naravnim vlekem, preko hladilnih stolpov z električnimi ventilatorji ali reke, ki je v bližini termoenergetskega objekta.

Do sedaj se še ni obdelala ideja, da bi bilo možno koristiti odpadno toploto hladilne vode, ki je na temperaturnem nivoju **od 22 do 30 st. C**, za potrebe proizvodnje toplotne energije , s toplotnimi črpalkami in plinskim dogrevanjem, za sisteme daljinskih ogrevanj.

To poslovno idejo je, avgusta in decembra 2018, Inštitut za daljinsko energetiko predlagal : Termoelektrarni Šoštanj, Komunalnemu podjetju Velenje, lastnikoma sistema DOT Šaleške doline MO Velenje in občini Šoštanj.

TERMODINAMIČNI IZKORISTKI ELEKTRARN

Izkorístek je v fiziki in tehniki izraženo razmerje med oddano (odvedeno) in vloženo (dovedeno) energijo. Izraža se ga s številom, enakim ali manjšim od 1 ter večjim od 0, kar pomeni, da se ga lahko ponazori z odstotki. Energijske izgube predstavljajo razliko med vloženim in oddanim delom, izkoristek pa je njuno razmerje: ($\epsilon = W/E$), pri čemer je W- oddano delo (J), E- vloženo delo (J).

Termoelektrarna ne more, zaradi termodinamčnih zakonov, v celoti pretvoriti energije goriva v električno energijo.

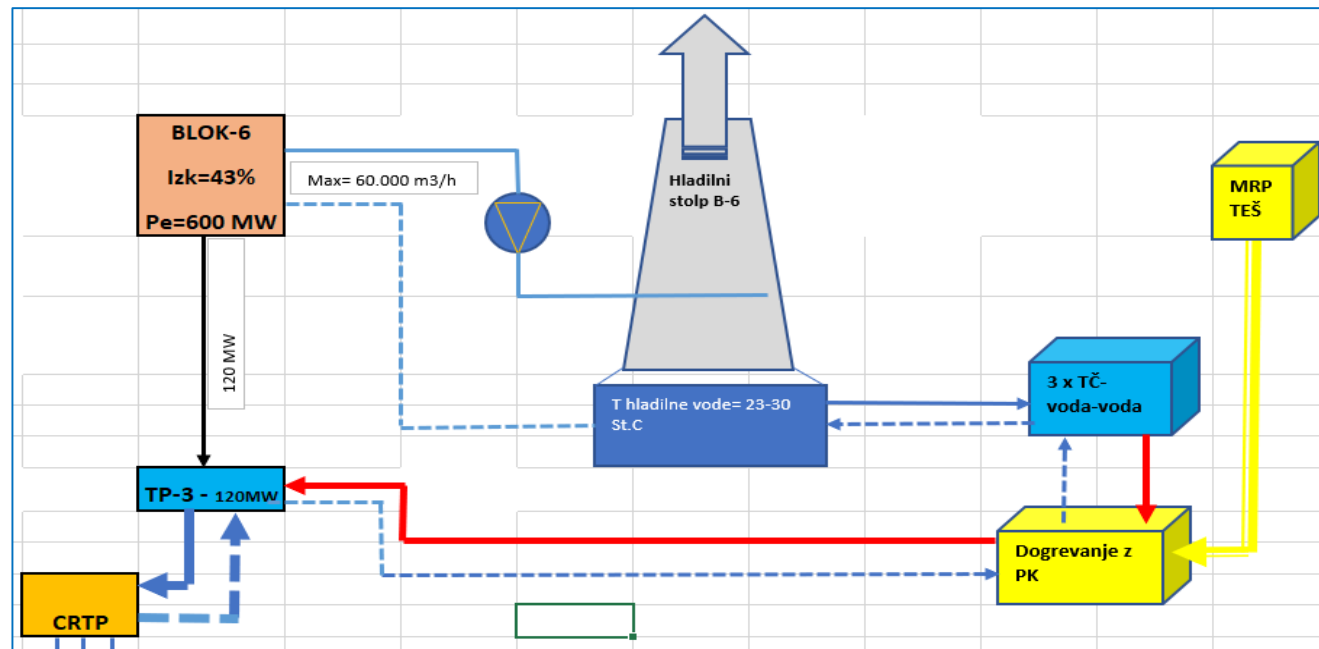
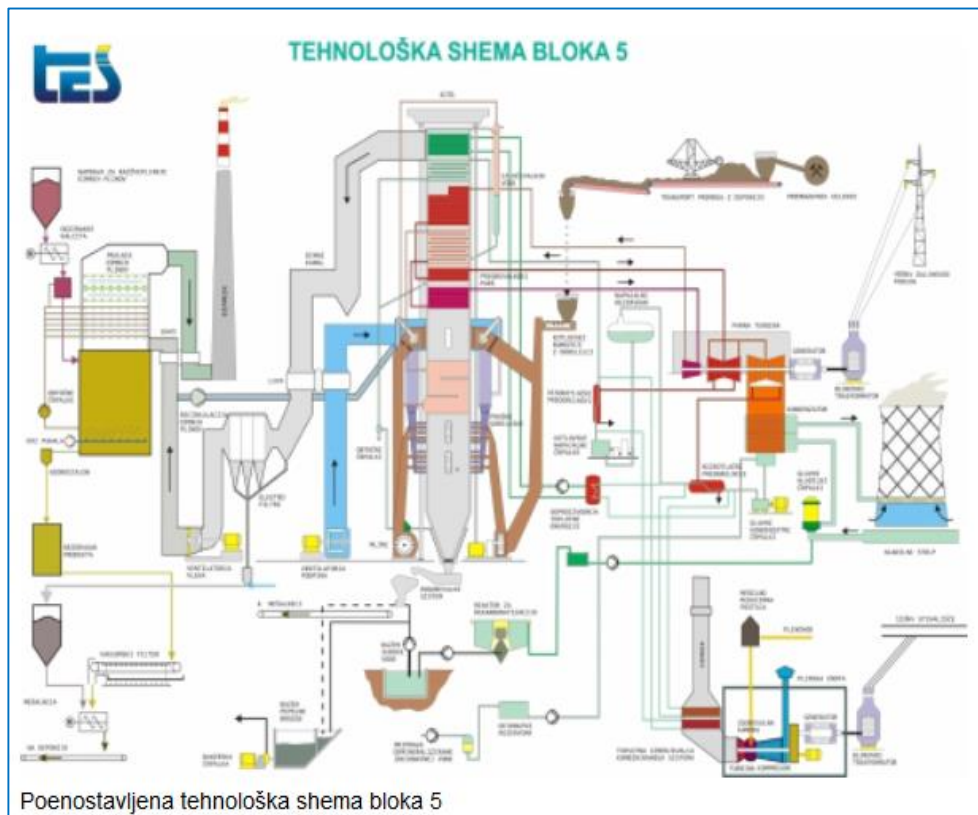
Moderne termoelektrarne imajo okrog 40% (43%) termodinamični izkoristek.

Del dovedene energije (okrog 57% do 60%) se pojavi kot odpadna toplota in jo morajo iz termoelektrarne odvesti v okolico.

Odpadno toploto se lahko uporablja za daljinsko ogrevanje, druge industrijske procese in desalinacijo, vendar je v večini primerov zavržena. Najpreprostejše je odvajanje odpadne toplote v zrak, reko, jezero ali morje.

Odpadna terciarna toplota iz TEŠ (Vir: ZIDE- Zager-2018)

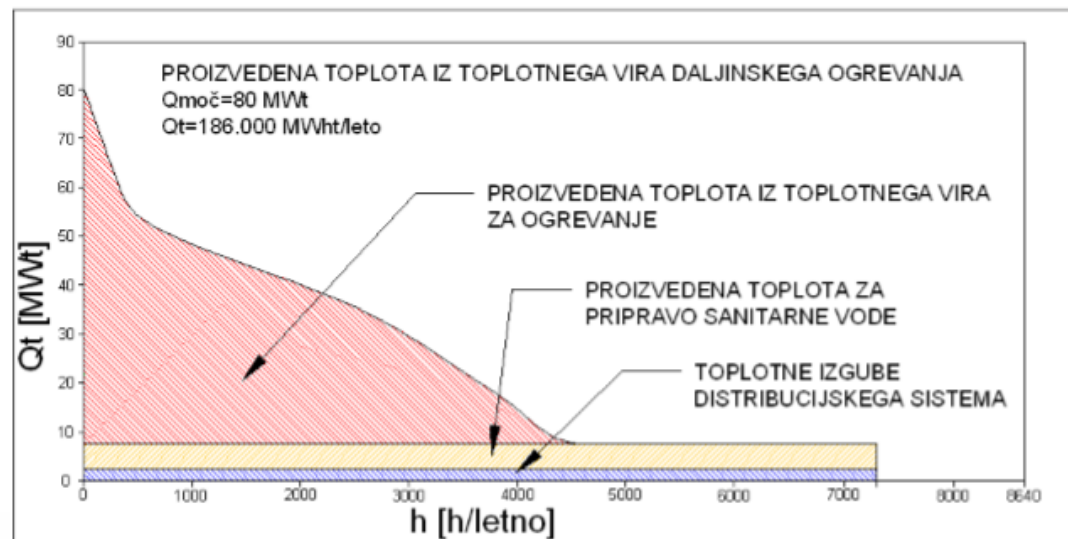
hladilna črpalka: zmogljivost	t/h	2 x 19.250
hladilni sistem: zmogljivost	m ³ /h	32.000
nazivna temp. hladilne vode	°C	22
višina hladilnega stolpa	m	94



Masni tok vode, kg/s	Toplota vode, MW	Potrebna električna moč, MW	Proizvedena toplotna moč v MW	Št. obratovalnih ur/leto	Proizvedena končna toplotna energija v (MWh)	Porabljena električna energija v (MWh)
1.000	21,0	7,0	28,0	8.000	168.000	56.000
2.000	42,0	14,0	56,0	8.000	336.000	112.000
3.000	63,0	21,0	84,0	8.000	504.000	168.000
4.000	84,0	28,0	112,0	8.000	672.000	224.000
5.000	105,0	35,0	140,0	8.000	840.000	280.000

Daljinsko ogrevanje iz Jederska elektrarna Krško (Vir: GEN-2013)

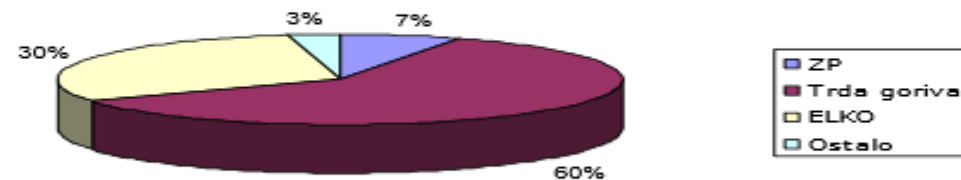
Podatki za dimenzioniranje distribucijskega sistema	skupaj MW	KK v MW	BR v MW
Teoretična skupna priključna moč porabnikov	~ 94	~ 51	~ 43
Priključna moč z upoštevanjem faktorja istočasnosti 0,75	~ 70,5	~ 38	~ 32,5
Dodatek moči zaradi toplotnih izgub (3,7 MW)	~ 74,2	~ 40	~ 34,2
Dodatek moči za ogrevanje sanitarne vode (7% od 70,5 MW)	~ 79,1	~ 42,6	~ 36,5
Teoretična skupna potrebna moč toplotnega vira	~ 80	~ 43	~ 37



Shematski prikaz predvidenih moči in porabe toplote v sistemu DO za Krško in Brežice

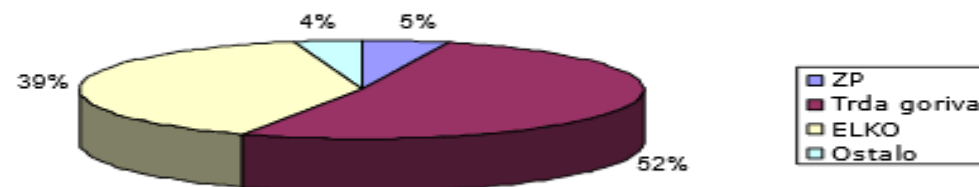
Sedanje ogrevanje v Krškem in Brežicah

Deleži ogrevalnih tehnologij v občini Krško



Vir: LEK občine Krško 2012

Deleži ogrevalnih tehnologij v občini Brežice

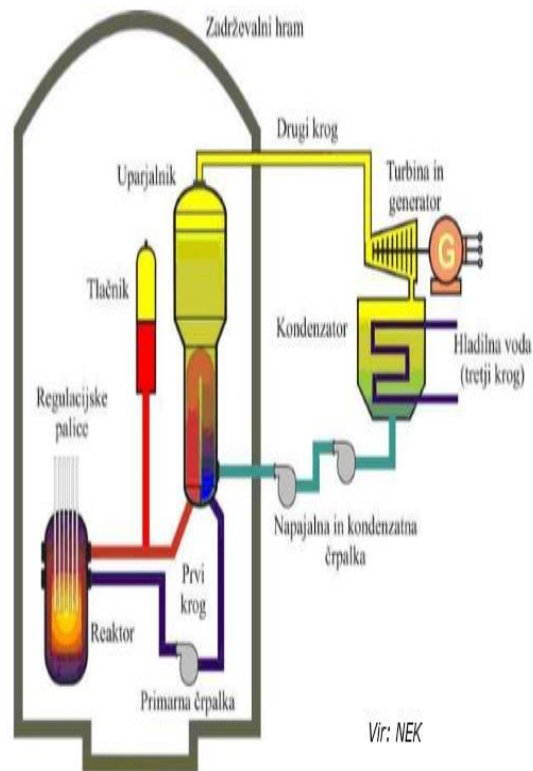


Vir: LEK občine Brežice 2012

VARIANTA-1 iz sekundarnega kroga JE-Krško

Tehnološki del NEK je razdeljen v tri osnovne termodinamične sklope sistemov:

- primarni (prvi),
- sekundarni (drugi) in
- terciarni (tretji) krog.



1a: Optimalna lokacija prenosnika toplote DO v NEK

1b: Alternativna lokacija prenosnika toplote DO v NEK

2: Distribucijski center s črpališčem za daljinsko ogrevanje, lociran izven ograje NEK.

KK – smer distribucije Krško
BR – smer distribucije Brežice

VARIANTA-2 ODPADNA TOPLOTA iz terciarnega kroga JE-Krško

- Primarno hlajenje je pretočno $25 \text{ m}^3/\text{s}$

– Zakonske omejitve:

- 25% odvzem pretoka Save
- Maksimalna temperatura Save

$$T_{MAX} = 28^\circ\text{C}$$

- Maksimalni porast temperature

$$\Delta T_{MAX} = 3^\circ\text{C}$$

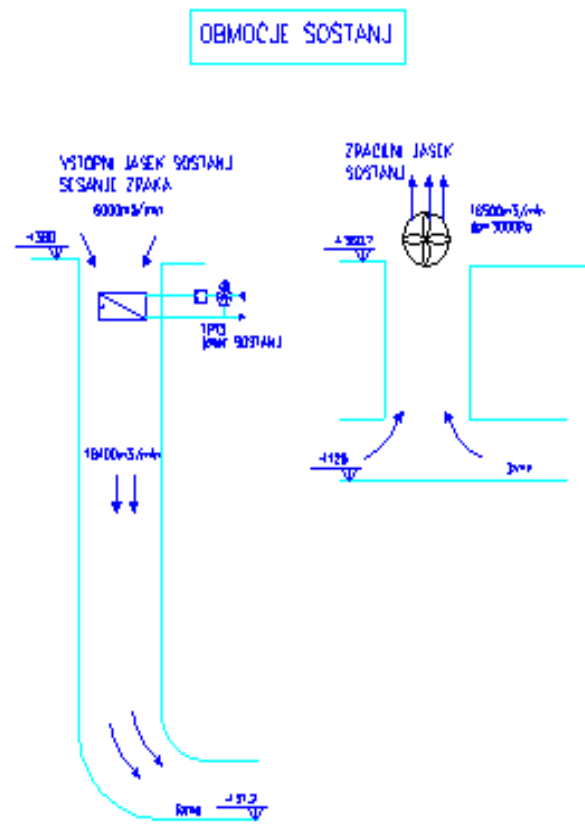


Odjem iz terciarnega kroga:

- Možnost odjema pred vstopom hladilne vode v kondenzator ali izstopom hladilne vode iz kondenzatorja vse do vsisa črpalk hladilnih stolpov.
- Zaradi večje fleksibilnosti obratovanja bi inštalirali 3 ali 4 toplotne črpalke s skupno toplotno močjo 80 MW
- Negativnih vplivov na NEK, tako z varnostnega kot z obratovalnega vidika NI,
- NI zmanjšanja proizvodnje električne energije

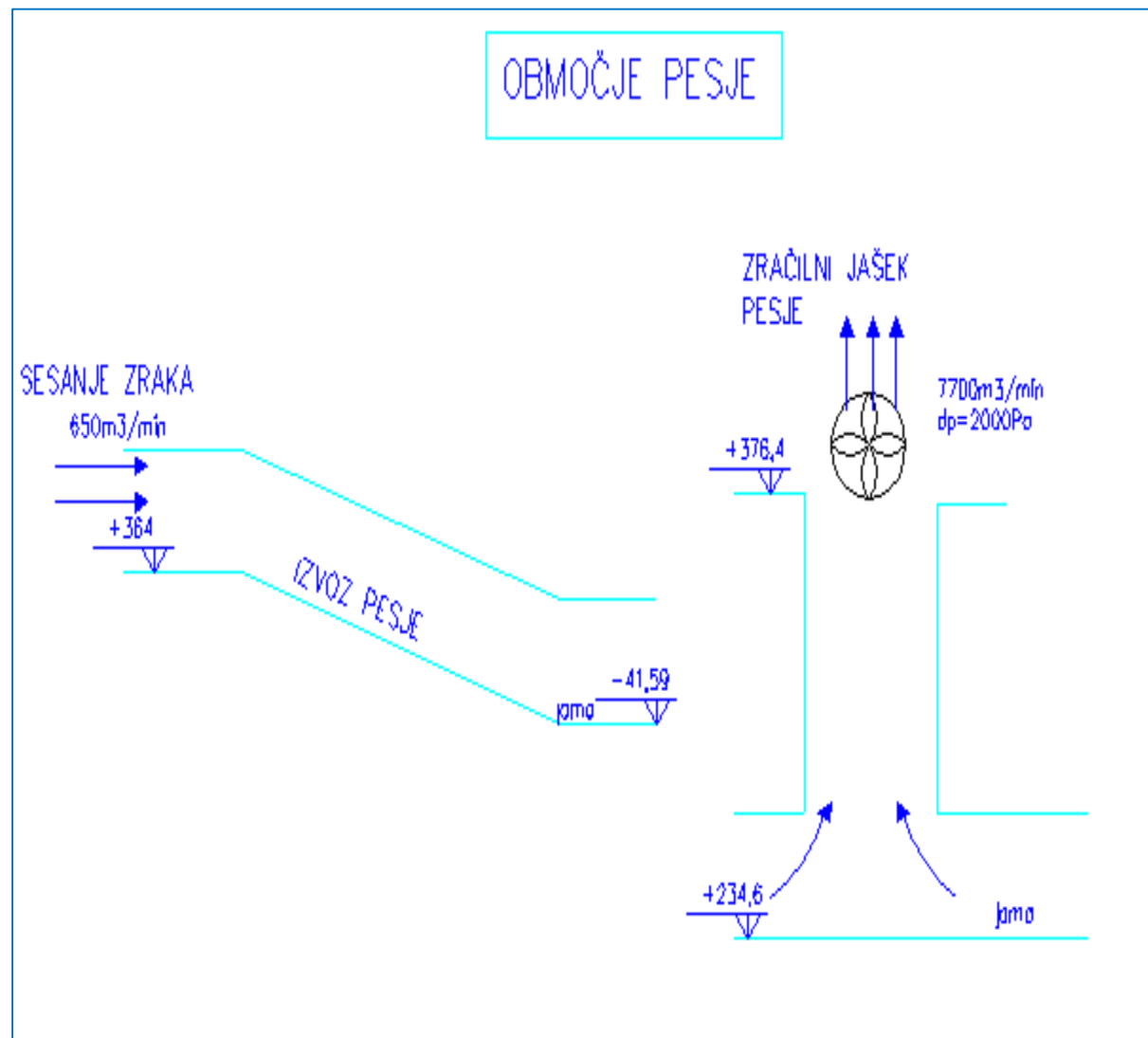
Izkoriščanje odpadne toplote prezračevalnega zraka iz Premogovnika Velenje

PREZRAČEVALNI JAŠEK ŠOŠTANJ:



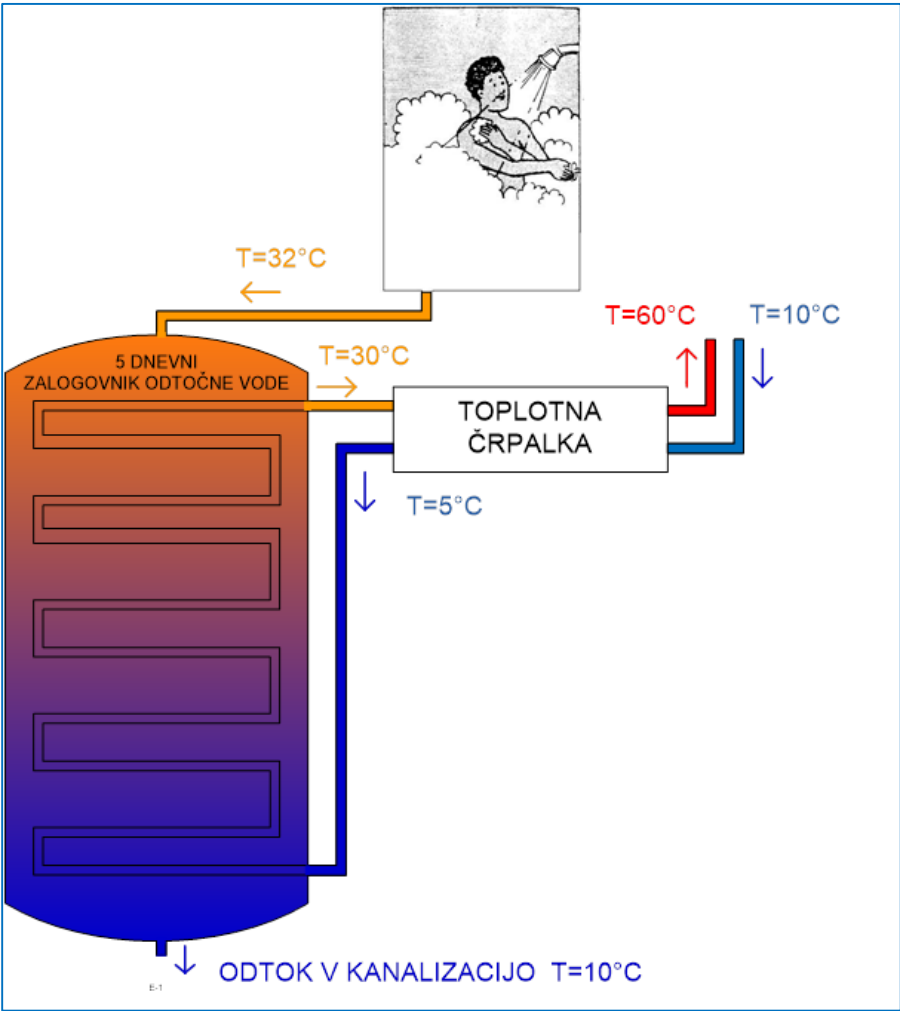
	Izstopni jašek (vlek ventilatorja)- ŠOŠTANJ				
	Pretok (m3/min)	Temp. suhega term. (°C)	Zavržena toplotna moč [MW]	Potreben vložek električne moči [MW]	Uporabna toplotna moč [MW]
jan	16810	18	4,410754888	1,470252	5,881007
feb	16680	18	4,37664435	1,458881	5,835526
mar	17120	19	4,8376412	1,612547	6,450188
apr	16780	20	5,080249875	1,693417	6,773667
maj	17780	20	5,383006125	1,794335	7,177342
jun	15180	22	5,208618525	1,736206	6,944825
jul	15180	23	5,51500785	1,838336	7,353344
avg	17000	23	6,1762275	2,058743	8,23497
sep	16440	21	5,3091336	1,769711	7,078845
okt	16440	21	5,3091336	1,769711	7,078845
nov	16670	20	5,046946688	1,682316	6,729262
dec	16670	20	5,046946688	1,682316	6,729262

PREZRAČEVALNI ZRAČILNI JAŠEK PESJE



	Izstopni jašek (vlek ventilatorja)- Pesje				
	Pretok (m3/min)	Temp. suhega term. (°C)	Zavržena toplotna moč [MW]	Potreben vložek električne moči [MW]	Uporabna toplotna moč [MW]
jan	7680	17	1,8601344	0,620045	2,480179
feb	7950	16	1,765068938	0,588356	2,353425
mar	6920	17	1,6760586	0,558686	2,234745
apr	6500	17	1,5743325	0,524778	2,09911
maj	6770	16	1,503083863	0,501028	2,004112
jun	7000	19	1,9780075	0,659336	2,637343
jul	7310	20	2,213148188	0,737716	2,950864
avg	7640	20	2,31305775	0,771019	3,084077
sep	7070	17	1,71238935	0,570796	2,283186
okt	7480	18	1,96266785	0,654223	2,61689
nov	7780	17	1,8843549	0,628118	2,512473
dec	7600	19	2,147551	0,71585	2,863401

Izkoriščanje odpadne toplote sanitarne vode iz kopalnic Premogovnika Velenje



TSV je namenjena za kopalnice in pralnice (dovod v bojlerje). Na dovodu hlade vode je interni merilnik, ki se ne odčitava redno. Nameščeni so trije hranilniki TSV prostornine $V=30\text{m}^3$ in eden prostornine $V=3\text{m}^3$ z električnim grelnikom 50kW. Predvidena temperatura v hranilnikih TSV je 60 st. C. Kopalnica je najbolj obremenjena na 1/3, ko je v jami cca. 500 rudarjev, na 2/3 in 3/3 jih je od 250 -300.

Odpadna voda: T=32 st. C, odtok v kanalizacijo

Sanitarna voda za tuširanje: 40st. C

Temperatura hladne vode: 10 st. C

Potencial zavržene toplote (v primeru izkoriščanja do temperature 10°C):

- Letno zavržena toplota:

$$Q_{zavržena} = V_{odtok} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T = 7740m^3 \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kg} \cdot (32^{\circ}C - 10^{\circ}C) \approx \underline{\underline{198MWh}}$$

IDEJNA ZASNOVA TOPLOTNE ČRPALKE VODA - VODA

- Toplotna moč toplotne črpalke $\Rightarrow$ predpostavka dnevno 12h delovanja pri $COP = 4$:

$$\dot{Q} = \frac{4 \cdot Q_{zavržena}}{3 \cdot (365dni \cdot 12 \frac{h}{dan})} = \frac{4 \cdot 198000kWh}{3 \cdot (4380h)} \approx \underline{\underline{60kW}}$$

- Električna moč toplotne črpalke:

$$P_{el} = \frac{1}{4} \cdot 60kW = \underline{\underline{15kW}}$$

- Letno pridobljena toplotna energija s toplotno črpalko:

$$Q_{koristna} = \dot{Q} \cdot (365 \cdot 12) = \underline{\underline{262,8MWh}}$$

- Letna poraba električne energije za toplotno črpalko:

$$W_{el} = P_{el} \cdot 365 \cdot 12 = \underline{\underline{65,7MWh}}$$

Izkoriščanje odpadne toplote v Tovarni proteinskih koncentratov (TPK) Perutnina Ptuj (Vir: www.izs.si)

Tehnični podatki o vgrajenih sistemih:

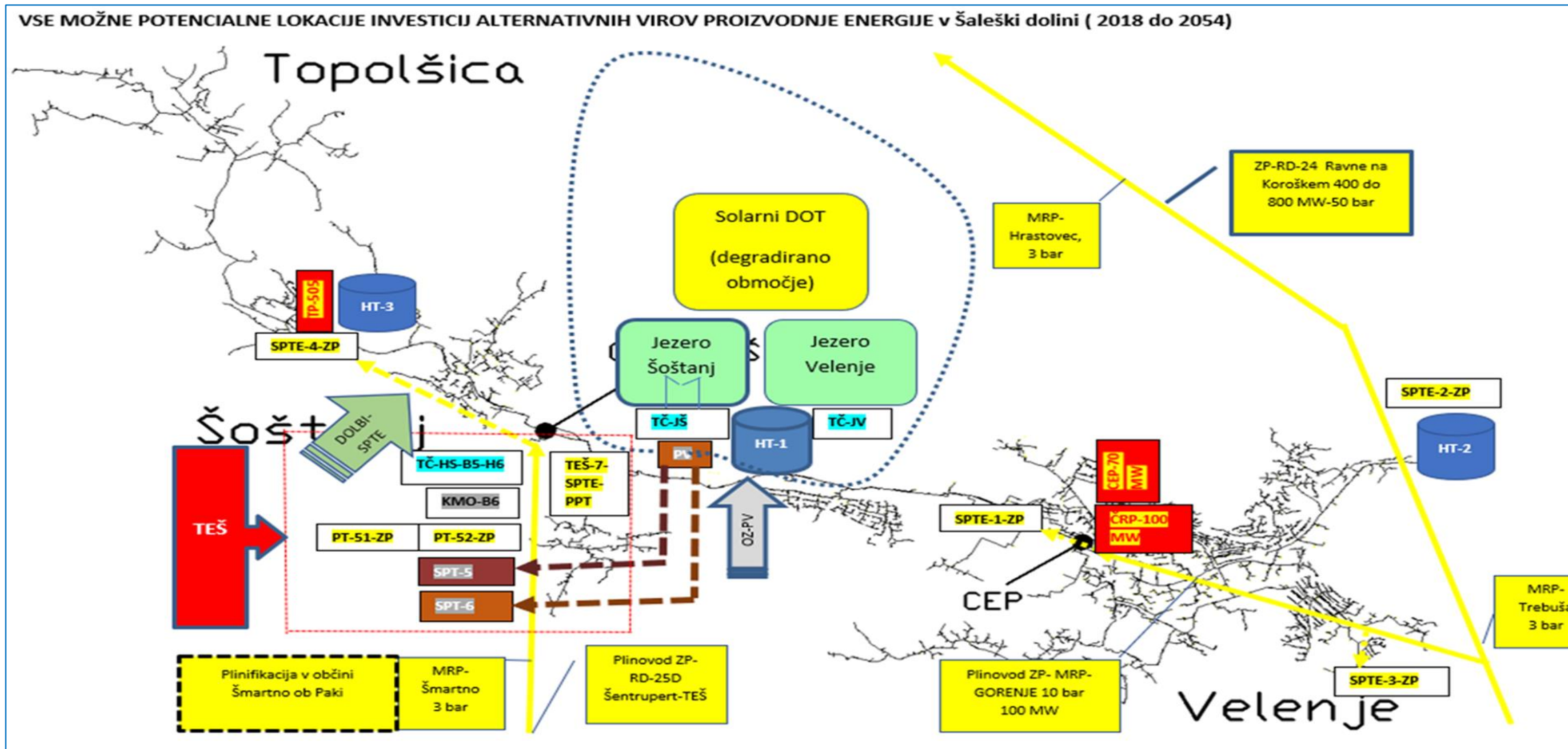
- Moč toplotnih prenosnikov odpadne toplote: 4 in 1,7 MW (cevni kondenzatorji ploščine 27 m² in 12 m²), hranilniki tople vode 55 m³.
- SPIRAX SARCO ekspanzijska posoda FV18, parna kondenzacijska postaja SPIRAX SARCO z dvema črpalkama.
- **Primarni ali rekuperativni sistem** odpadne toplote s pretočnim rezervoarjem, sistemom dovajanja hladne mehke vode s frekvenčno vodeno črpalko, dvema cevnama kondenzatorjema in dvema krogotokoma hladilne vode s frekvenčno vodenimi obtočnimi črpalkami. Primarni krog omogoča maksimalno odvajanje odpadne toplote iz odpadne pare in njeno začasno skladiščenje v pretočnem rezervoarju. Temperatura odpadne vode v tem rezervoarju niha zaradi spreminjajoče porabe tople vode in šaržnega procesa predelave klavničnih odpadkov.
- **Sekundarni ali skladiščni sistem** odpadne toplote v topli vodi, ki zajema transportni sistem s frekvenčno vodeno transportno črpalko, dva skladiščna rezervoarja, temperaturno regulacijo in razdelilnike tople vode ter recirkulacijo nazaj v prvi rezervoar.
- **Pomožni sistem** zagotavljanja tople vode, ki zajema dva grelna akumulacijska rezervoarja in obtočni grelni sistem z dvema ploščnima toplotnima prenosnikoma. Sistem je namenjen zagotavljanju tople vode, ko TPK ne obratuje, ali obratuje s prenizko kapaciteto, da bi lahko zagotovila dovolj tople vode.

Prihranke smo izračunali iz razlike v porabi zemeljskega plina, potrebnega za predelavo mesečne (letne) količine produktov pred in po zaključku investicije. Konservativna ocena prihranka porabe te pare je 20 % glede na celokupno potrebno ogrevalno toploto za pripravo tople vode. Z rekuperacijo odpadne toplote za segrevanje tople vode mesečno privarčujemo najmanj 40.000 EUR oz. 480.000 EUR na leto, kar predstavlja 1.793 t/a manj emisij CO₂. To smo v fazi obratovanja z rednim preverjanjem tudi potrdili; z merjenjem porabe zemeljskega plina.

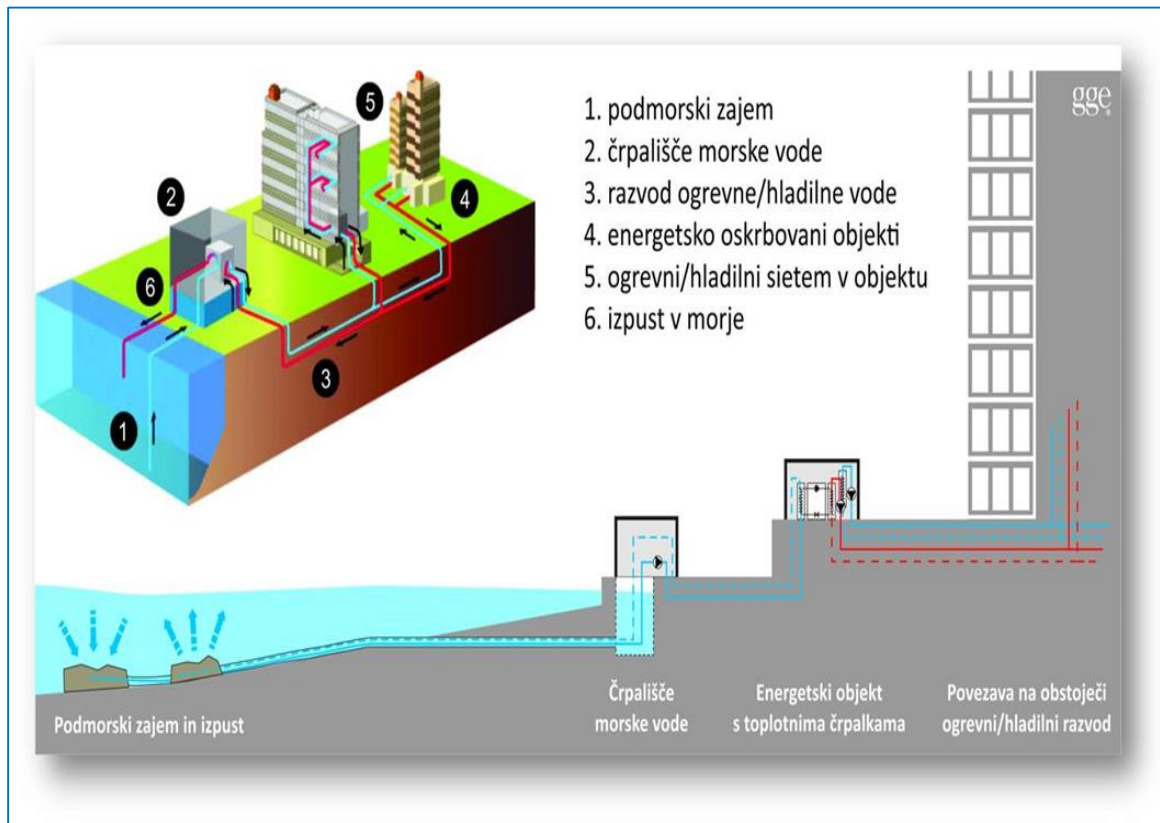
Za izvedeni projekt je podjetje PP na Energetski dnevih 2009 dobilo posebno priznanje strokovne komisije, ŠGZS je projektu podelila zlato priznanje, GZS pa bronasto.



Izkoriščanje površinske geotermalne energije iz jezer Šaleške doline

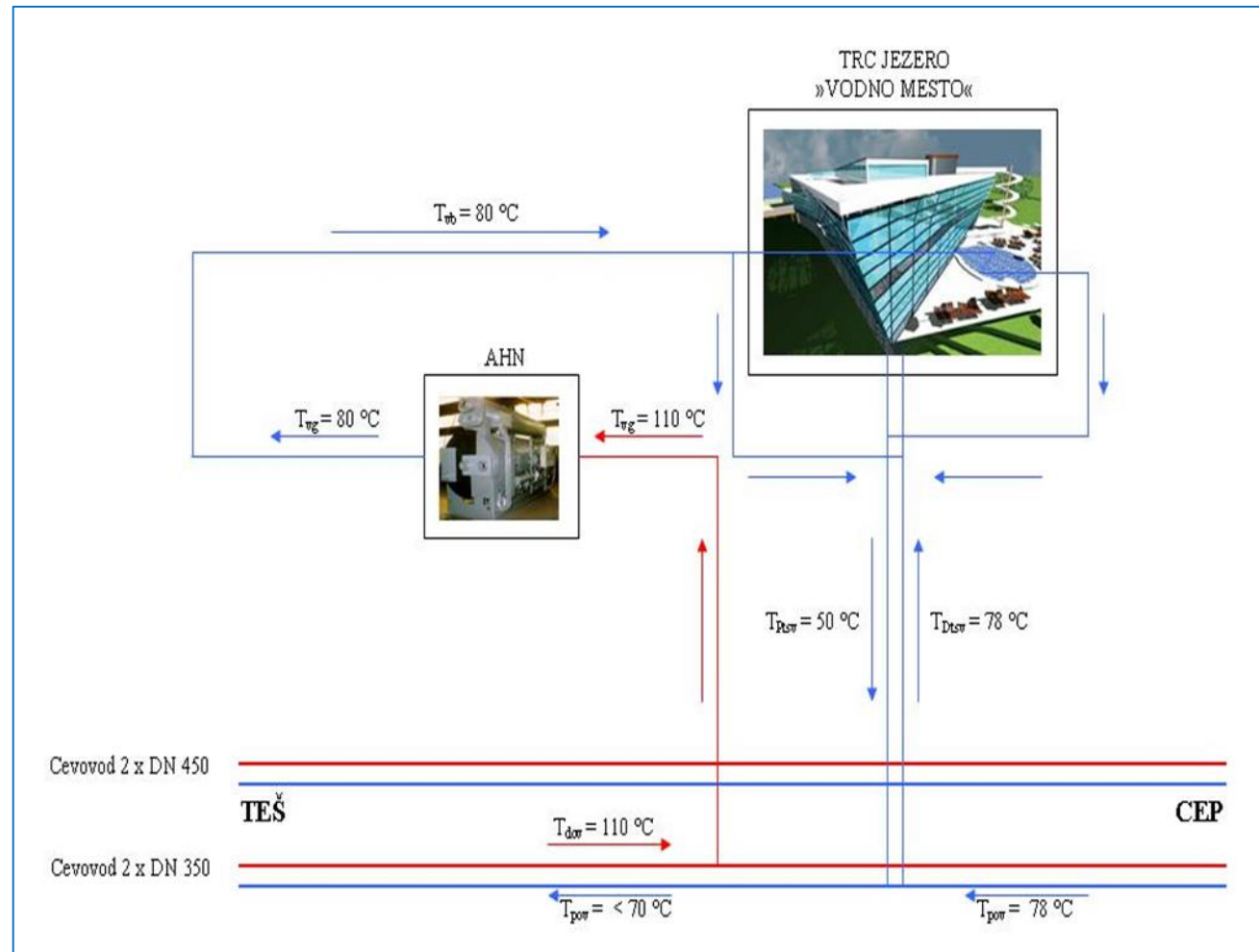


Energijo jezer je za potrebe daljinskega ogrevanja sicer možno koristiti po tehnologiji s toplotnimi črpalkami do 70 St. C in vršnimi dogrevanji z zemeljskim plinom do potrebnih dovodnih obratovalnih temperatur, ki bodo primerne za normalno obratovanje centraliziranega sistema daljinskega ogrevanja. V tej idejni študiji smo proučili scenarije možnih proizvedenj toplotnih moči v odvisnosti od razpoložljive temperature vode in različnih scenarijev masnih tokov koriščene vode jezer.



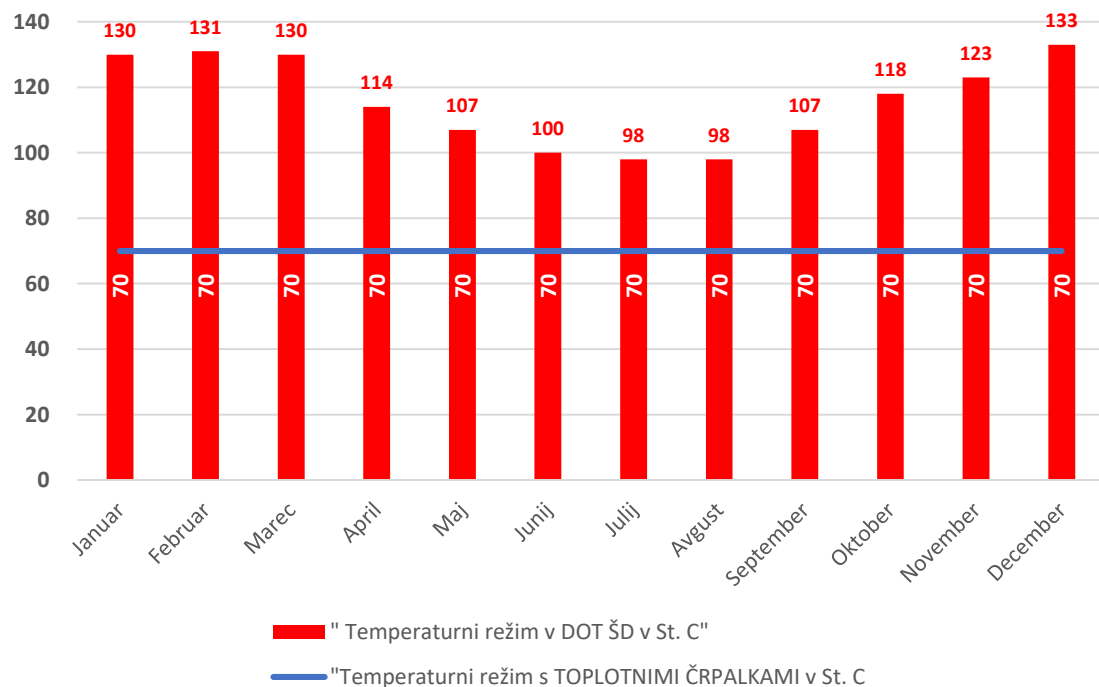
Masni tok vode	Grelna toplotna moč
kg/s	MW
50	2,80
100	5,60
150	8,40
200	11,20
250	14,00
300	16,80
350	19,60
400	22,40

AQVA LAND – Terme VELENJE

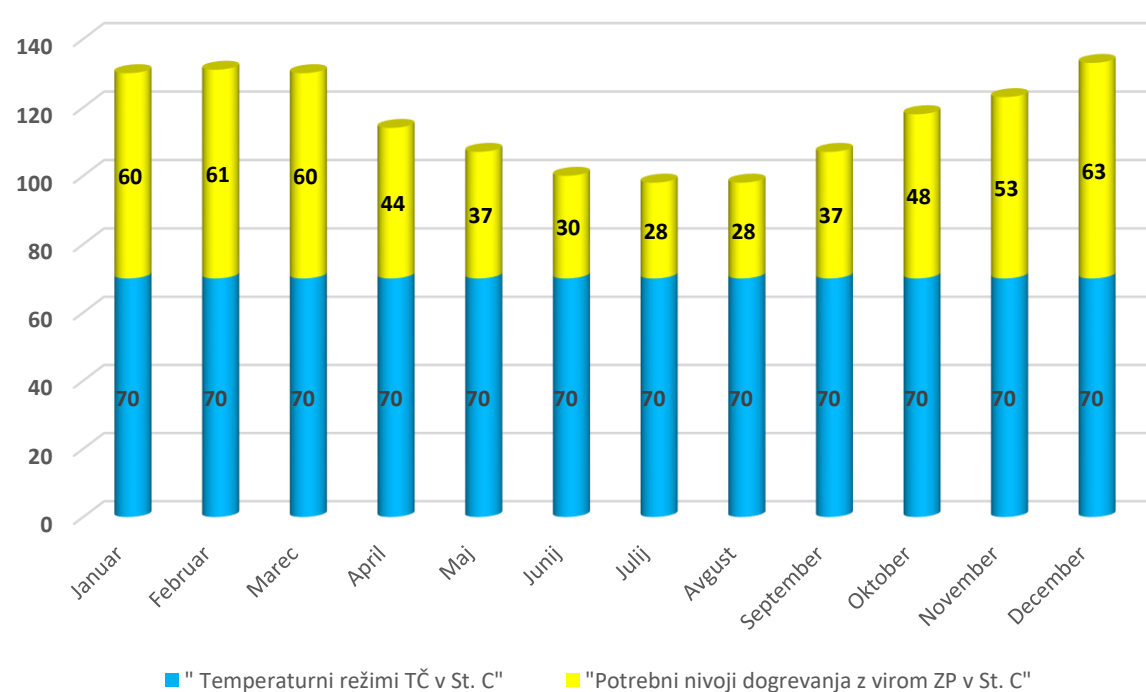


Pri kakršnih koli nadaljnjih proučevanjih možnosti koriščenja globinskih in površinskih virov geotermalne energije zraka in voda so te smiselne le z uporabo toplotnih črpalk, ki po sedanjem stanju tehnike lahko proizvajajo toplotno energijo le do temperaturnega nivoja 60 do 70 st. C, kar je celo nižji temperaturni režim, kot je sedaj (75 st. C) v povratnih vodih sedanjega stanja daljinskega ogrevanja Šaleške doline. Zato bi bile možnosti izkoriščanja geotermalnih energij le z dodatnimi vršnimi dogrevanji na zemeljski plin, kar bi bilo potrebno nedvomno proučiti tudi iz ekonomskih vidikov.

**Primerjava TEMPERATURNIH REŽIMOV med sedanjim DOT-ŠD in
TOPLITNIMI ČRPALKAMI v St. C**



**Potrebne temeprature DOGREVANJA z vršnim ALTERNATIVNIM virom na
ZEMELJSKI PLIN v St.C**



Uporabljeni viri:

LITERATURA

- (1) Miran Zager, ZIDE, Študija možnosti uporabe alternativnih proizvodnih virov toplote za sistem DOT Šaleške doline, december 2018
- (2) Robert Bergant, GEN Energija, Možnosti DO iz Nuklearne elektrarne Krško, 2013
- (3) Miran Zager, dr. Andrej Ljubenko, prof. dr. Alojz Poredoš, Razširjeni energetski pregled Premogovnika Velenje, 2012
- (4) Miran Fužir, Petrol energetika, Kristjan Plesnik Metal Ravne, referat SDDE-2017

HVALA ZA VAŠO POZORNOST