



Tehnološke osnove iskorištavanja obnovljivih izvora energije

6. Prve auditorne vježbe

Zadaci – Sunce, vjetar, spremanje – I dio



Vjetar – zadatak 1



- Međunarodni aerodrom u Houstonu okružen je drvećem visine 20-tak metara. Uporabom logaritamskog izraza odredi faktor povećanja brzine vjetra za visinu od 100 m u odnosu na visinu od 10 m.

Opis terena	Vrijednost z_0 [m]	Opis terena	Vrijednost z_0 [m]
Snijeg, ravna zemlja	0,0001	Farme	0,002-0,3
Mirno otvoreno more	0,0001	Malo drveća	0,06
Valoviti more	0,001	Puno drveća, nekoliko zgrada	0,3
Snijeg, kultivirana zemlja	0,002	Šume	0,4-1,2
Travnjaci	0,02-0,05	Gradovi	1,2
Žitna polja	0,05	Centri gradova s visokom zgradama	3



$$v = v_0 \frac{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H_0}{z_0}\right)}; H = 100 \text{ m}; H_0 = 10 \text{ m}$$

iz tablice uzimamo $z_0 = 0,4$

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\ln\left(\frac{100}{0,4}\right)}{\ln\left(\frac{10}{0,4}\right)} = \frac{5,5215}{3,21} = 1,71$$

iz tablice uzimamo $z_0 = 1,2$

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\ln\left(\frac{100}{1,2}\right)}{\ln\left(\frac{10}{1,2}\right)} = \frac{4,4228}{2,1203} = 2,09$$



Vjetar – zadatak 2



- Pogreške u procjenama zbog različitog pristupa ili nepotpunih podataka!

Pretpostavimo da vjetar 1 sat puše brzinom od 5 m/s, a drugi sat brzinom od 15 m/s. Procijeni srednju specifičnu snagu vjetra (snaga po površini) tijekom navedena dva sata. Gustoća zraka iznosi 1,226 kg/m³.



I nacin :

$$\bar{v} = \frac{v_1 \cdot t_1 + v_2 \cdot t_2}{t_1 + t_2} = \frac{5 \cdot 1 + 15 \cdot 1}{1 + 1} \Rightarrow \bar{v} = 10 \text{ m/s}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot \bar{v}^3 \Rightarrow \frac{\bar{P}}{A} = 613 \text{ W/m}^2$$

II nacin :

$$\frac{P_1}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{v}_1^3 = 76,625 \text{ W/m}^2$$

$$\frac{P_2}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \bar{v}_2^3 = 2068,875 \text{ W/m}^2$$

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{sr} = \frac{\left(\frac{P_1}{A}\right) \cdot t_1 + \left(\frac{P_2}{A}\right) \cdot t_2}{t_1 + t_2} \Rightarrow \left(\frac{P}{A}\right)_{sr} = 1073 \text{ W/m}^2$$

Razlika: $(1073 - 613) \text{ W/m}^2 =$

460 W/m²



Vjetar – zadatak 3



- Izračunaj srednju godišnju specifičnu snagu vjetra ako je poznata srednja godišnja brzina vjetra (8 m/s). Upotrijebi Rayleighovu distribuciju uz širine klase vjetra od 1 m/s, 2 m/s i 5 m/s te i Weibullovu (uz $k=1,8$ i $c=8$ m/s) distribuciju uz širinu klase vjetra od 1 m/s. Gustoća zraka iznosi 1,226 kg/m³.

Diskretizirani oblici:

$$f(v) = \Delta v \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{\bar{v}^2} \exp \left[-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right]$$

Rayleighove

i

$$f(v) = \Delta v \cdot \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c} \right)^k \right]$$

Weibullove raspodjele

Parametri Weibullove raspodjele temeljeni na empiriji:

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}} \right)^{-1,086} ; \quad \frac{c}{\bar{v}} = \left(0,568 + \frac{0,433}{k} \right)^{\frac{1}{k}}$$

Δv predstavlja širinu klase vjetra, a v reprezentativnu brzinu vjetra pojedine klase (najčešće srednju vrijednost)

Najjednostavniji odabir parametara Weibullove raspodjele: $k=1,8-2,3$; c =srednja brzina vjetra

Širina klase od 5 m/s omogućava brzi proračun, ali unosi pogrešku koja je očita kada se pogleda broj sati u godini

$$P / A = 0,5 \cdot 1,226 \cdot v^3$$

Rayleigh - 5 m/s						
Delta v	v	f(v)	t [h]	P/A [W/m2]	P*f	
0-5	2,5	28,41%	2489	9,58	2,72	
5-10	7,5	46,15%	4043	258,61	119,35	
10-15	12,5	22,55%	1975	1197,27	269,94	
15-20	17,5	5,01%	439	3285,30	164,56	
20-25	22,5	0,55%	48	6982,45	38,64	
25-30	27,5	0,03%	3	12748,48	4,01	
30-35	32,5	0,00%	0	21043,14	0,20	
		102,71%	8997	P/A srednji	599,42	

Klasa vjetra
Širina klase je
 Δv u jednadžbi

Reprezentativna brzina
(v u jednadžbi)

$$f(v) = \Delta v \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{\bar{v}^2} \exp \left[-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v}{\bar{v}} \right)^2 \right]$$

Detaljniji proračun i grafički prikaz dostupni u excel datoteci
"uz_auditorne_vjetar"



Vjetar – zadatak 4



- Mjerenje brzine vjetra rezultiralo je podacima danima u tablici. Gustoća zraka iznosi 1 kg/m^3 . Odredi:
 - a) frekvenciju (učestalost) svake klase,
 - b) specifičnu snagu vjetra za klase 5 i 10,
 - c) srednju brzinu i srednju specifičnu snagu vjetra.

TRAŽI SE

Klasa j	Brzina vjetra m/s	Broj očitavanja
1	1	20
2	3	30
3	5	50
4	7	100
5	9	180
6	11	150
7	13	120
8	15	80
9	17	40
10	19	10

Frekvencija f(v)	f(v)*v	(P/A) _j *f(v)



$$\frac{P}{A} = 0,5 \cdot 1 \cdot 10,2052^3 = 531,4159 \text{ W/m}^2$$



ZADANO

Klasa j	Brzina vjetra m/s	Broj očitavanja
1	1	20
2	3	30
3	5	50
4	7	100
5	9	180
6	11	150
7	13	120
8	15	80
9	17	40
10	19	10

TRAŽI SE

Frekvencija f(v)	f(v)*v	(P/A) _j *f(v)
0,0256	0,0256	0,0128
0,0385	0,1155	0,5198
0,0641	0,3205	4,0063
0,1282	0,8974	21,9863
0,2308	2,0772	84,1266
0,1923	2,1153	127,9757
0,1538	1,9994	168,9493
0,1026	1,5390	173,1375
0,0513	0,8721	126,0185
0,0128	0,2432	43,8976
1,0000	10,2052	750,6304



Vjetar – zadatak 5



- Vjetroatregat napaja trošilo nazivne snage 100 kW. Prosječna brzina vjetra na lokaciji iznosi 5 m/s. Koliki je minimalan potrebni promjer vjetroturbine da bi se osiguralo napajanje trošila pri prosječnoj brzini? Pretpostaviti da gustoća zraka iznosi 1,225 kg/m³ i $c_{pe} = 0,59$.

$$P = c_{pe} \frac{1}{2} \rho A v^3; A = \left(\frac{d}{2} \right)^2 \pi \Rightarrow d = 53,1 \text{ m}$$



Vjetar – zadatak 6



- Promjer vjetroturbine iznosi 100 m. Vjetroatregat (VA) postiže nazivnu snagu od 2,88 MW uz brzinu vjetra od 11 m/s, a ne radi kad je brzina vjetra manja od 5 m/s ili viša od 25 m/s. Koliko bi energije godišnje proizveo vjetroatregat uz sljedeće podatke i pretpostavke: 40% vremena brzina vjetra manja je od minimalne, 15% vremena brzina vjetra veća je od maksimalne, 25% vremena brzina vjetra iznosi 8 m/s i $c_{pe} = 0,45$, 20% vremena brzina vjetra je između 11 m/s i 25 m/s, kada VA radi na nazivnoj snazi. Gustoća zraka je $1,225 \text{ kg/m}^3$. Koliki je c_{pe} kod nazivne brzine? Koliki je faktor opterećenja kod vjetroelektrane?



$$c_{pe} = \frac{P_n}{\frac{1}{2} \rho A v_{11}^3} = 0,45$$

$$P_8 = 1,108 \text{ MW}; P_{11-25} = 2,88 \text{ MW}$$

$$W_8 = 2,43 \text{ GWh}; W_{11-25} = 5,04 \text{ GWh} \Rightarrow W_{\text{god}} = 7,47 \text{ GWh}$$

$$m = 0,296$$



Vjetar – zadatak 7



- Vjetroagregat (VA) postiže nazivnu snagu od 600 kW pri brzini vjetra od 20 m/s. VA se uključuje pri brzini vjetra od 5 m/s, a isključuje pri brzini vjetra od 22 m/s. Ovisnost izlazne snage VA o brzini vjetra (na visini osi glavčine – hub height) dana je u tablici. Visina osi glavčine iznosi 45 m. Odredi vjerojatnu godišnju proizvodnju električne energije i faktor raspoloživosti na lokaciji sa srednjom brzinom vjetra od 8,2 m/s na visini od 10 m, uz pretpostavku da je distribucija brzine vjetra slijedi Rayleighovu distribuciju.

Brzina vjetra (m/s)	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Snaga VA (kW)	0	0	0	80	220	360
Brzina vjetra (m/s)	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0
Snaga VA (kW)	500	550	580	590	600	0

**Detaljniji proračun
i grafički prikaz
dostupni u excel
datoteci
“uz_auditorne”**



Vjetar – zadatak 8



- U tablici su prikazani kumulativni podaci o trajanju brzina vjetra dobiveni temeljem jednogodišnjih mjerenja i odnose se na visinu od 90 m iznad tla. Gustoća zraka na danoj visini iznosi $1,210 \text{ kg/m}^3$. Odredite: srednju godišnju brzinu vjetra, srednju godišnju specifičnu snagu vjetra, ~~parametre Weibullove raspodjele~~. Uporabom Weibullove raspodjele proračunajte specifičnu snagu i usporedite rezultate.



V [m/s]	T [h/god]
0	265,8
1	335,7
2	569,5
3	890,5
4	988,0
5	1021,7
6	905,8
7	833,2
8	740,7
9	593,0
10	510,7

V [m/s]	T [h/god]
11	386,3
12	252,5
13	162,7
14	108,2
15	77,7
16	56,0
17	41,8
18	16,3
19	3,2
20	0,8
>20	0

**Detaljniji proračun
i grafički prikaz
dostupni u excel
datoteci
“uz_auditorne”**



Spremanje energije – I dio

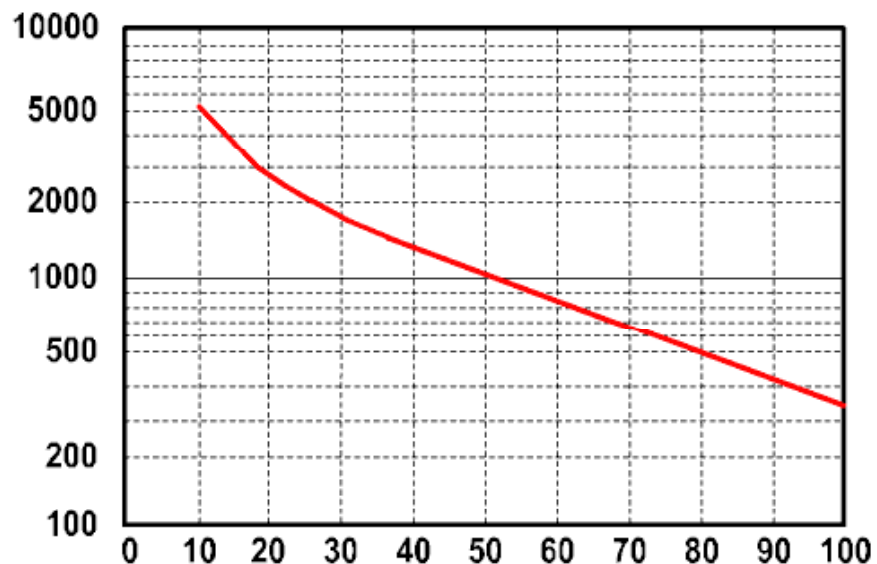




Kako odrediti “izdržljivost” olovnog akumulatora uz poznate zahtjeve ili koji je akumulator potreban u slučaju poznatih zahtjeva za energijom i snagom?

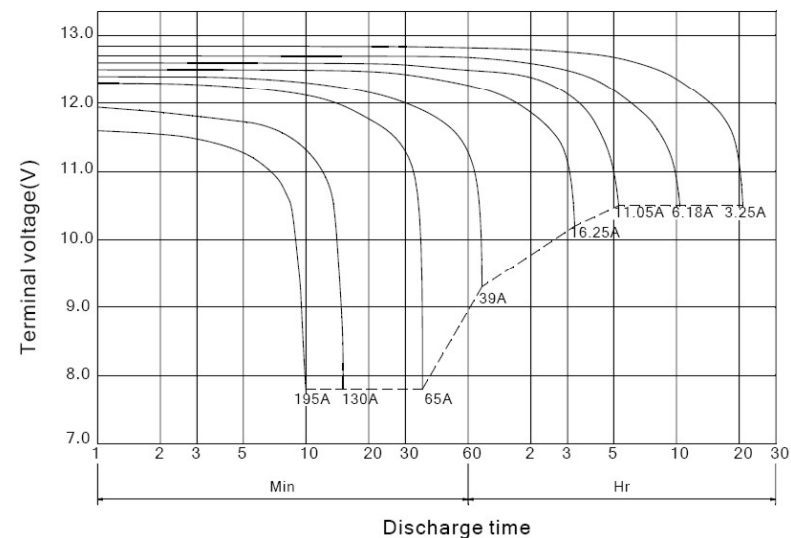


- Osnovni pojmovi, mjere i jedinice:
- Q – naboj [C]; $Q_{\text{elektron}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $Q = I \cdot t$ { I – struja [A]; t – vrijeme [s]} [C=As]
- U tehnologiji baterija i akumulatora koristi se jedinica Ah ili mAh
- Kapacitet akumulatora = naboj pohranjen u akumulatoru
- E – energija = $Q \cdot U$ [Ah · V=Wh]
- “DOD” – “Depth of Discharge” – količina energije (naboja) izvučena iz akumulatora – usko povezan sa životnim vijekom odnosno brojem ciklusa punjenje-pražnjenje – siguran inženjerski pristup: max 50% do 80% DOD za hibridni, odnosno stvarni “deep cycle” akumulator
- “ROD” – “Rate of Discharge” – brzina pražnjenja – utječe na kapacitet (posebno kod olovnih akumulatora) – nazivni podaci na akumulatoru najčešće za 20 h pražnjenje – C-rate (satna brzina pražnjenja): 1C – pražnjenje u 1 sat po nazivnim podacima



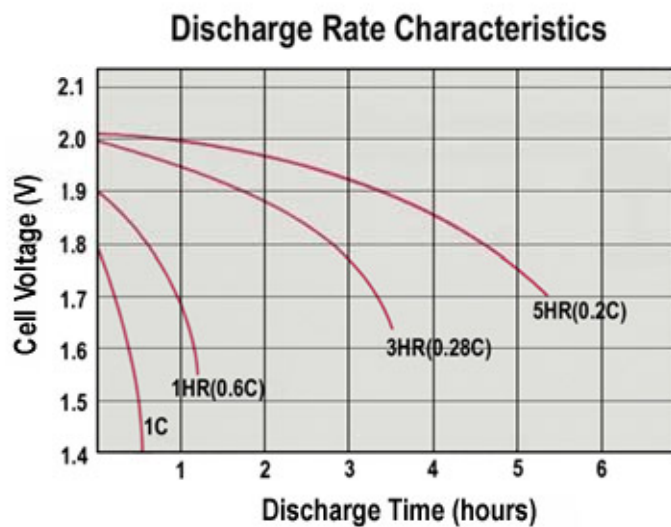
Ovisnost broja ciklusa punjenje-pražnjenje o DOD izraženom u % za tipičan Concorde Lifeline akumulator

BP65-12 Battery discharge characteristics (25°C/77°F)



Karakteristika pražnjenja BP65-12 akumulatora (12V, 65 Ah)

Tipično vrijeme pražnjenja za 10 Ah olovni akumulator



15.03.2016.

OINT - 2015/16

Struja pražnjenja	C-brzina	Vrijeme pražnjenja	Konačni napon
0,5 A	0,05 C	20 h	1,75 V/čel
1,0 A	0,1 C	10 h	1,75 V/čel
2 A	0,2 C	5 h	1,70 V/čel
2,8 A	0,28 C	3 h	1,64 V/čel
6 A	0,6 C	1 h	1,55 V/čel
10 A	1 C	0,5 h	1,40 V/čel



dimensioniranje



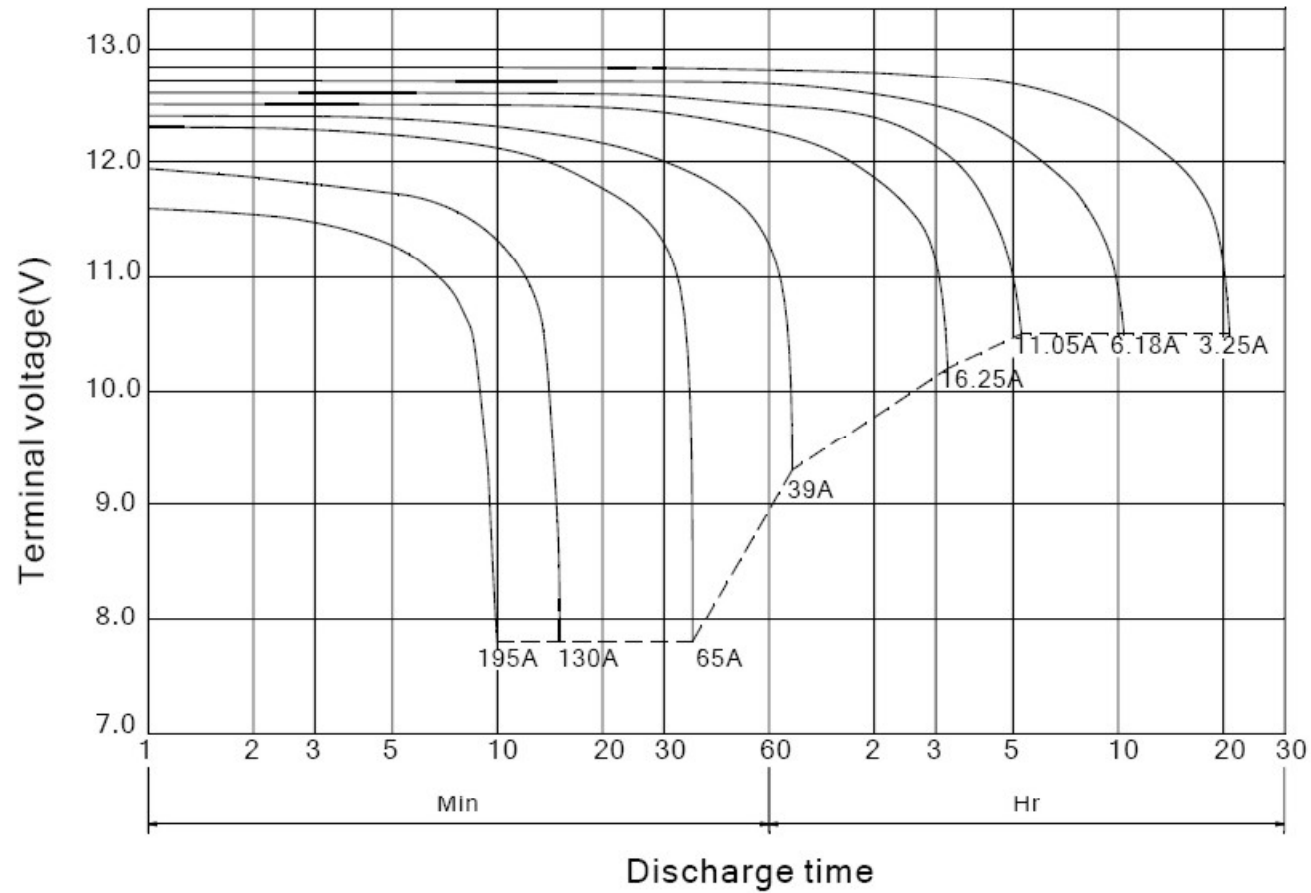
- Snaga tereta –
ukupna potrošnja
svih električnih
uređaja
- Specifikacija
dostupnih baterija
(akumulatora) –
kapacitet, DoD,
nazivni napon
- Autonomnost –
koliko dana treba
sustav raditi
samostalno



Mali električni sustav napaja se isključivo iz obnovljivih izvora energije, a sastoji se od 4 12 V DC žarulje svake snage 11 W koje se koriste maksimalno 4 sata dnevno i malih 220 V AC potrošača (TV, laptop) maksimalnog zahtjeva za snagom u iznosu od 150 W tijekom 6 sati dnevno. Odredite potreban broj 65 Ah (kapacitet uz brzinu pražnjenja od 0,05C) 12 V akumulatora (prije spomenuti BP65-12) (i način njihovog spajanja) potrebnih za osiguranje električne energije tijekom 5-dnevne nedostupnosti obnovljivog izvora energije uz sljedeće pretpostavke: sigurnosna rezerva 20%; efikasnost akumulatora (DOD) 80%; efikasnost DC/AC pretvorbe (inverter 12 V DC/220 V AC; 600 W) 90%. Nakon 4 dana nedostupnosti Sunca osvanulo je hladno jutro i u sustav je neplanirano uključena grijalica snage 0,5 kW koja je bila uključena 3 h. Da li je akumulatorski sustav te večeri u stanju osigurati 4-satno napajanje žarulja i 6-satno napajanje AC potrošača? Zanimarite gubitke samopražnjenja i temperaturnih oscilacija.



BP65-12 Battery discharge characteristics (25°C/77°F)



Zahtjevi :

DC : 4 žarulje * 11 W * 4 sata/danu = 176 Wh/danu uz DC napon od 12 V;

AC : 150 W * 6 sati/danu = 900 Wh/danu $\xrightarrow{\text{uz 90\% efikasnost DC/AC konverzije}}$ 1000 Wh/danu uz DC napon od 12 V;

UKUPNO po danu : 1176 Wh/danu uz DC napon od 12 V;

UKUPNO uz 20% rezervu : 1176 Wh/danu * 5 dana * 1,2 = 7056 Wh

Potreban kapacitet akumulatora uz 80% DOD : $\frac{7056 \text{ Wh}}{12 \text{ V} * 0,8} = 735 \text{ Ah}$

Potreban broj akumulatora : $\frac{735 \text{ Ah}}{65 \text{ Ah}} = 11,3 = 12$ akumulatora paralelno spojenih

Provjera brzine pražnjenja :

kapacitet : 12 * 65 Ah = 780 Ah

maksimalni zahtjev : $4 * 11 \text{ W} + 150 \text{ W} / 0,9 = 210 \text{ W} \Rightarrow \frac{210 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 17,5 \text{ A}$

akumulatori paralelno spojeni $\Rightarrow \frac{17,5 \text{ A}}{12} = 1,45 \text{ A/akumulatoru}$ - sve OK

Potrošeno nakon 4 dana :

176 Wh/danu * 4 dana + 900 Wh/danu / 0,9 * 4 dana = 4704 Wh $\Rightarrow 392 \text{ Ah}$

$\text{SOC} = \frac{780 - 392}{780} = 49,7\%$

Grijalica : $500 \text{ W} * 3 \text{ h} = 1500 \text{ Wh AC} / 0,9 = 1666 \text{ Wh DC} \Rightarrow 139 \text{ Ah}$

$\text{SOC} = 49,7\% - \frac{139}{780} = 31,9\%$

do 20% DOD : $(31,9\% - 20\%) * 780 \text{ Ah} = 93,6 \text{ Ah}$

za DC i AC potrošače do kraja dana : $44 * 4 \text{ Wh} + 150 * 6 / 0,9 = 1176 \text{ Wh} \Rightarrow 98 \text{ Ah}$

spuštanje ispod 20% SOC - potencijalno oštećenje akumulatora

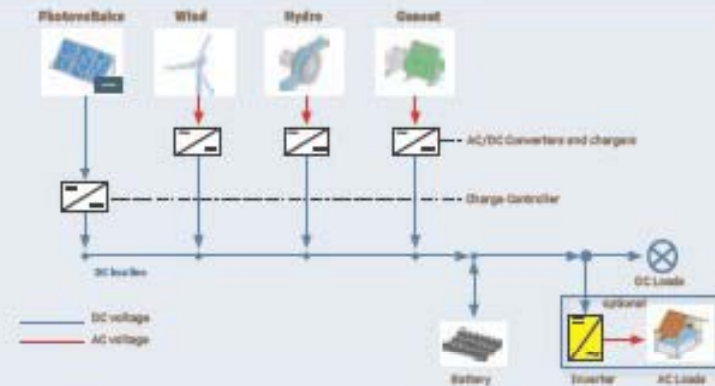
također $500 \text{ W} / 0,9 = 556 \text{ W DC} \xrightarrow{/12 \text{ V} / 12 \text{ akumulatora}}$ 3,86 A/akumulatoru

smanjuje se kapacitet zbog ROD (brzine pražnjenja)

1. Electricity generation coupled at DC bus line

All electricity generating components are connected to a DC bus line from which the battery is charged. AC generating components need an AC/DC converter. The battery, controlled and protected from over charge and discharge by a charge controller, then supplies power to the DC loads in response to the demand. AC loads can be optionally supplied by an inverter.

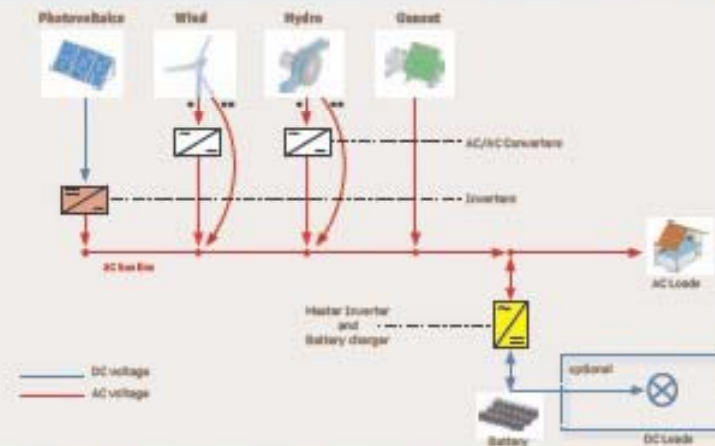
Hybrid system (DC coupled)
Source/Implementer: STECA (Greece)



2. Electricity generation coupled at AC bus line

All electricity generating components are connected to an AC bus line. AC generating components may be directly connected to the AC bus line (**) or may need a AC/AC converter to enable stable coupling of the components (*). In both options, a bidirectional master inverter controls the energy supply for the AC loads and the battery charging. DC loads can be optionally supplied by the battery.

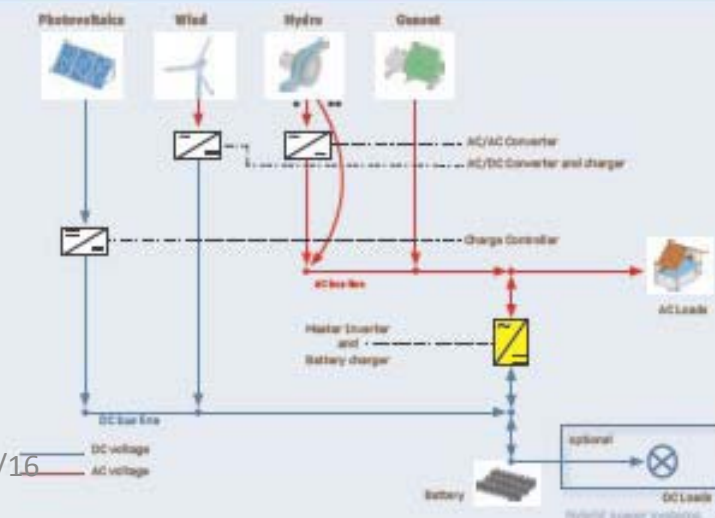
Hybrid system (AC coupled)
Source/Implementer: SMA (China)



3. Electricity generation coupled at AC/DC bus lines

DC and AC electricity generating components are connected at both sides of a master inverter, which controls the energy supply of the AC loads. DC loads can be optionally supplied by the battery. On the AC bus line, AC generating components may be directly connected to the AC bus line (**) or may need a AC/AC converter to enable stable coupling of the components (*).

Hybrid system (AC/DC coupled)
Source/Implementer: ISOFOTON (Senegal)



- Reverzibilna hidroelektrana ima korisni volumen spremnika 9,75 milijuna m³. Njegovim pražnjenjem proizvede se 16,6 GWh električne energije. Prosječna visinska razlika između gornjeg i donjeg spremnika iznosi 721,8 m. Učinkovitost pumpanja je 60%. Odredite učinkovitost pretvorbe mehaničke u električnu energiju. Koliko se energije potroši na pumpanje vode iz donjeg u gornji spremnik? Koliko iznosi ukupna učinkovitost ciklusa spremanja energije?



$$E_p = mgh = V\rho gh = 6,9 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

$$E_{\text{el}} = \eta_{\text{meh-el}} E_p \Rightarrow \eta_{\text{meh-el}} = \frac{E_{\text{el}}}{E_p} = 0,866$$

$$\eta_{\text{uk}} = \eta_{\text{meh-el}} \cdot \eta_p = 0,519$$

$$\eta_{\text{uk}} = \frac{E_{\text{el}}}{E_{\text{EES}}} \Rightarrow E_{\text{EES}} = \frac{E_{\text{el}}}{\eta_{\text{uk}}} = 31,96 \text{ GWh}$$

- Pedesetih je godina prošlog stoljeća u Švicarskoj tvrtka Oerlikon pustila u promet demonstracijski električni autobus sa zamašnjakom (puni cilindar-disk mase 1500 kg, promjera 160 cm) kao spremnikom energije. Maksimalna brzina rotacije zamašnjaka bila je 3000 okr/min. Odredite maksimalnu kinetičku energiju zamašnjaka. Koliko je trajalo punjenje sustava ako je minimalna dozvoljena brzina okretanja zamašnjaka iznosila 2100 okr/min, a punjenje se provodilo elektromotorom snage 52 kW.




$$E_{k \max} = \frac{1}{2} I \omega_{\max}^2 = \frac{1}{2} \frac{1}{2} m r^2 \omega_{\max}^2 \approx 23,7 \cdot 10^6 \text{ J} = 6,58 \text{ kWh}$$

$$t = \frac{\Delta E}{P} = \frac{E_{k \max} - E_{k \min}}{P} \approx 232 \text{ s} = 3,87 \text{ min}$$



Sunce – I dio



 **S1.** Izračunajte visinu Sunca u Sunčevo podne, vrijeme izlaska i zalaska Sunca i prosječno trajanje Sunčeva dana u Zagrebu ($\varphi=45,82^\circ$) za 15. ožujak, 15. lipanj i 15. rujan.

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega;$$

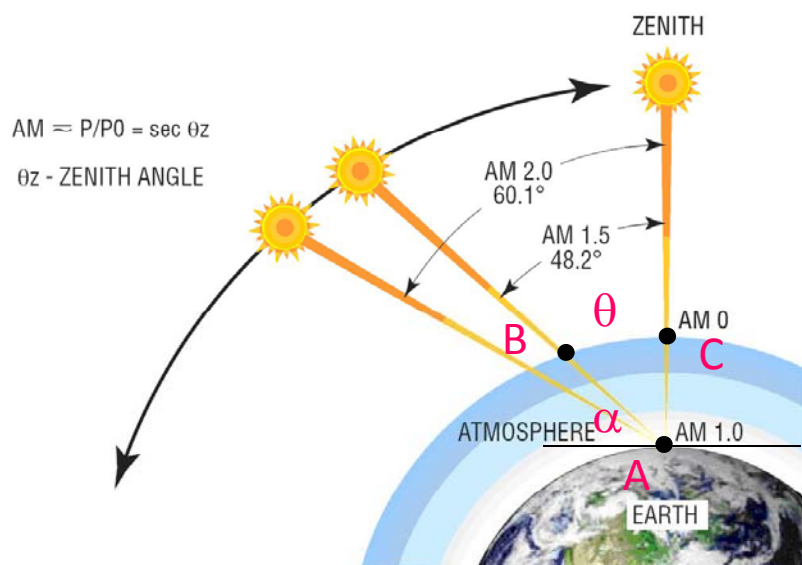
φ - zemljopisna širina; visina Sunca u pravo Suncevo podne ($\omega = 0^\circ$; $\cos \omega = 1$):

δ - deklinacija Sunca; $\sin \alpha_p = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta = \cos(\varphi - \delta) = \sin(90^\circ - \varphi + \delta) = \cos \vartheta_{zp}$

ω - satni kut Sunca $\alpha_p = 90^\circ - \varphi + \delta$

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360^\circ \frac{284 + n}{365}\right)$$

n - broj dana od 1. siječnja.



15. ožujak	15. lipanj	15. rujan
74	166	258
-2,819 °	23,314 °	2,217 °

41,361 °	67,494 °	46,397 °
-----------------	-----------------	-----------------

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega;$$

$$\alpha = 0^\circ; \alpha = 180^\circ$$

$$\cos \omega_s = -\tan \varphi \tan \delta$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta)$$



Datum	15. ožujak	15. lipanj	15. rujan
Deklinacija	-2,819°	23,314 °	2,217 °
Kut izlaska	87,096 °	116,326 °	92,283 °
Vrijeme izlaska*	6,19	4,24	5,85
Vrijeme zalaska*	17,81	19,76	18,15
Trajanje Sunčeva dana	11,62	15,52	12,30

*nisu uračunate razlike između Sunčevog i mjesnog vremena, kao i pomicanje sata