

ŠTUDIJA IZVEDLJIVOSTI UMESTITVE SONČNE ELEKTRARNE

BIOTEHNIŠKI CENTER NAKLO

Naročnik:	BIOTEHNIŠKI CENTER NAKLO, Strahinj 99, 4202 Naklo
Kontaktna oseba:	Marijan POGAČNIK, direktor
Izvajalec analize:	AETHEN d.o.o., Leonova ulica 1, 2310 Slovenska Bistrica
Številka dokumenta:	260305
Datum analize:	Maj 2026
Verzija:	01

Kazalo vsebine

0	Povzetek za poslovno odločanje	8
0.1	Podlaga in metodologija analize	8
0.2	Potek analize in omejitve	8
0.3	Predlagana moč sončne elektrarne in kapaciteta baterijskega hranilnika	9
1	Podatki o objektu	11
1.1	Podatki o naročniku	11
1.2	Obstoječe stanje energetske infrastrukture	11
1.3	Merilna mesta	12
2	Zakonodajni okvir	13
2.1	Pravni temelji	13
2.2	Pregled priključitvenih shem	13
2.3	Priporočena shema: Individualna samooskrba po shemi PS.3A	14
3	Opis tehnologij	16
3.1	Delovanje sončne elektrarne	16
3.2	Baterijski hranilnik električne energije (BHEE)	16
3.3	Življenjska doba in degradacija Li-Ion BHEE	17
3.4	Namembnost in prihranki BHEE	17
4	Analiza električne porabe	20
4.1	Profil porabe	20
4.2	Mesečna poraba električne energije	20
4.3	Strošek električne energije pred vgradnjo SE — razčlenitev po postavkah	21
4.4	Vpliv elektrizacije ogrevanja	22
5	Solarni potencial	25
5.1	Strešne površine	25
5.2	Metodologija izračuna sončnega potenciala	27
5.3	Pričakovana mesečna proizvodnja	28

5.4	Primerjava streh in omejitve	28
6	Dimenzioniranje sistema	30
6.1	Metodologija dimenzioniranja	31
7	Predlagana rešitev brez elektrifikacije ogrevanja	32
7.1	Pregled variant	32
7.2	Direktna kompenzacija s BHEE po mesecih	32
7.3	Priporočena rešitev — tehnični parametri	33
7.4	Operativni kazalniki baterijskega hranilnika (BHEE)	33
7.5	Struktura investicije	34
7.6	Letni prihranki in povračilna doba	35
7.7	Razčlenitev stroška električne energije po vgradnji SE	35
7.8	ROI analiza — 30-letna projekcija	37
7.9	Okoljski vpliv	39
8	Predlagana rešitev z elektrifikacijo ogrevanja	41
8.1	Pregled variant	41
8.2	Direktna kompenzacija s BHEE po mesecih — $1 \times (215 \text{ kWh} / 100 \text{ kW})$, 227,7 kWp	41
8.3	Priporočena rešitev — tehnični parametri	42
8.4	Operativni kazalniki baterijskega hranilnika (BHEE)	43
8.5	Struktura investicije	44
8.6	Letni prihranki in povračilna doba	44
8.7	Razčlenitev stroška električne energije po vgradnji SE	45
8.8	ROI analiza — 30-letna projekcija	47
8.9	Okoljski vpliv	49
9	Zaključek in priporočila	51
9.1	Naslednji koraki	51
9.2	Priporočila za optimizacijo porabe	52
10	Viri in zakonodaja	53

Kazalo tabel

Tabela 1: Pregled merilnih mest.....	12
Tabela .2: Mesečna poraba električne energije	20
Tabela 3: Strošek električne energije pred vgradnjo SE	22
Tabela 4: Strošek električne energije pred vgradnjo SE po elektrifikaciji ogrevanja	24
Tabela 5: Pregled strešnih površin in solarnega potenciala	25
Tabela 6: Pričakovana mesečna proizvodnja.....	28
Tabela 7: Tehnični parametri priporočene rešitve.....	33
Tabela 8: Struktura investicije	34
Tabela 9: Strošek električne energije po vgradnji SE.....	35
Tabela 10: Strošek električne energije po vgradnji SE.....	36
Tabela 11: ROI analiza — 30-letna projekcija	39
Tabela 12: Okoljski vpliv vgradnje SE.....	40
Tabela 6: Primerjava variant sistemov BHEE	41
Tabela 7: Tehnični parametri priporočene rešitve.....	43
Tabela 8: Struktura investicije	44
Tabela 9: Strošek električne energije po vgradnji SE.....	45
Tabela 10: Strošek električne energije po vgradnji SE.....	46
Tabela 11: ROI analiza — 30-letna projekcija	48
Tabela 12: Okoljski vpliv vgradnje SE.....	49

Kazalo grafikonov

Grafikon 1: Mesečna poraba električne energije	21
Grafikon 2: Pričakovana mesečna sončna proizvodnja	28

Kazalo slik

Slika 1: Objekt Biotehniški center Naklo	11
Slika.2: Priključna shema PS.3B.....	15
Slika .3: Strešne površine na objektu telovadnice.....	26
Slika 4: Strešne površine na objektu šole.....	27
Slika 6: Postavitev modulov na objektu telovadnice.....	29
Slika 7: Postavitev modulov na strehi šole	30

Uporabljene kratice

SE — Sončna elektrarna

BHEE — Baterijski hranilnik električne energije

PS — Priključitvena shema (po klasifikaciji SONDSEE)

EE — Električna energija

P:C — razmerje med močjo (Power) in kapaciteto (Capacity) pri BHEE

kWp — Kilowatt peak (enota inštalirane moči fotovoltaičnega sistema v standardnih pogojih)

kWh — Kilowatna ura

MWh — Megawatna ura (1.000 kWh)

VT — Visoka tarifa (obračunski čas z višjo ceno elektrike)

MT — Mala tarifa (obračunski čas z nižjo ceno elektrike)

ET — Enotna tarifa (enoten obračun brez tarifnih časov)

WACC — Weighted Average Cost of Capital (tehtano povprečje stroška kapitala, diskontna stopnja)

NPV — Net Present Value (neto sedanja vrednost investicije)

IRR — Internal Rate of Return (interna stopnja donosa)

ELES — Elektro-Slovenija, d.o.o. (sistemski operater prenosnega omrežja)

AGEN — Agencija za energijo Republike Slovenije

OVE — Obnovljivi viri energije

EZ-1 — Energetski zakon (Uradni list RS)

0 Povzetek za poslovno odločanje

0.1 Podlaga in metodologija analize

Izvedba študije umestitve sončne elektrarne je ključen korak pri prehodu na samooskrbo z električno energijo. Namen študije je oceniti tehnično izvedljivost, določiti optimalno kapaciteto naprave glede na dejansko porabo objekta ter opredeliti energetske in ekonomske učinke prehoda na obnovljive vire energije (OVE).

Pri izdelavi študije smo uporabili metodologijo, ki temelji na integraciji prostorskih omejitev in energetskih potreb. Naš pristop je vključeval naslednje korake:

- Analiza lokacije in tehničnih pogojev: Preučili smo razpoložljive površine za namestitev fotonapetostnih modulov (strešne površine), njihovo orientacijo, naklon in morebitna senčenja.
- Pregledali smo stanje obstoječe elektroenergetske infrastrukture in razpoložljivo priključno moč.
- Na podlagi podatkov o 15-minutni porabi električne energije za obdobje od januarja 2025 do aprila 2026 smo izdelali profil porabe s načrtovano vključitvijo polnilnice za polnjenje električnih vozil.
- Posebno pozornost smo namenili usklajenosti med generacijo sončne energije in dejanskimi potrebami objekta (vključno s polnilnicami za električna vozila), da se čim več proizvedene električne energije porabi neposredno na objektu (direktna kompenzacija), kar prinaša največje finančne učinke.
- Dimenzioniranje in tehnična rešitev: S pomočjo simulacijskih orodij smo določili optimalno moč sončne elektrarne. Izračunali smo pričakovano letno proizvodnjo električne energije ob upoštevanju lokalnih klimatskih pogojev, orientacije, postavitve modulov in specifičnih izgub sistema.
- Ekonomsko in okoljsko ovrednotenje: Izračunali smo donosnost investicije, pri čemer smo upoštevali prihranke pri nakupu energije iz omrežja, stroške vzdrževanja ter ocenjene investicijske stroške. Ocenili smo tudi zmanjšanje ogljičnega odtisa (CO₂ izpusti).

0.2 Potek analize in omejitve

Študija umestitve sončne elektrarne je bila izvedena kot strokovna podlaga za optimizacijo energetske samooskrbe. Priprava je temeljila na analizi tehnične dokumentacije objekta, dejanskih podatkih o porabi ter predvidenih bodočih potrebah po električni energiji.

Poudariti je treba, da so vsi izračuni proizvodnje v tem poročilu izračunani glede na povprečne zgodovinske podatke o sončnem obsevanju na lokaciji. Ekonomske ocene so podane glede na

trenutne tržne cene fotovoltaičnih sistemov in podatkov o ceni električne energije in omrežnine glede na trenutno pogodbo o dobavi električne energije naročnika. Dejanski energetski izplen je odvisen od specifičnih mikroklimatskih pogojev v določenem letu, medtem ko so finančni kazalniki podvrženi nihanjem tržnih cen komponent in energentov. Za prehod v fazo realizacije je nujno potrebno:

- Pridobiti projektne pogoje in soglasje za priključitev s strani pristojne elektro distribucije.
- Izdelati projektno dokumentacijo za izvedbo (PZI).
- Pridobiti končne ponudbe izvajalcev energetskih sistemov.

Kljub navedenim omejitvam študija predstavlja zanesljivo strokovno utemeljitev za investicijsko odločitev, ki bo podjetju omogočila dolgoročno stabilnost pri stroških energije in povečala njegovo energetsko neodvisnost.

0.3 Predlagana moč sončne elektrarne in kapaciteta baterijskega hranilnika

Inštalirana moč	Letna proizvodnja	Direktna komp.	Povračilna doba
227,7 kWp	217.601 kWh	96.3 %	0,2 let
Skupna investicija	Subvencija	CO ₂ prihranek / leto	Samooskrba
217.694 €	213.521 €	106.624 kg	33.2 %

Predmet analize je postavitve nove sončne elektrarne na objektu Biotehniški center Naklo (Strahinj 99, 4202 Naklo), ki bo delovala kot dograditev k obstoječim energetskim kapacitetam. Za razliko od obstoječega sistema bo nova elektrarna priključena po shemi skupnostne samooskrbe (PS.3B). To pomeni, da se bo na lokaciji vzpostavilo novo merilno mesto, nanj pa bodo vezani določeni porabniki znotraj skupnosti, kar omogoča optimalno porazdelitev proizvedene energije med različnimi merilnimi mesti naročnika.

Načrtovana inštalirana moč nove elektrarne je 227,7 kWp, njena predvidena letna proizvodnja pa znaša 217.601 kWh. K elektrarni se prigradi baterijski hranilnik (BHEE) kapacitete 215 kWh in moči 100 kW. S to razširitvijo bo sistem dosegal 96,3 % direktno kompenzacijo in 33,2 % stopnjo samooskrbe glede na celotno letno porabo vključenih enot, ki znaša 544.765 kWh. Izbrana moč in prehod na skupnostno shemo predstavljata napredno rešitev, ki naročniku omogoča večjo fleksibilnost pri upravljanju z energijo na celotnem območju centra.

Z vidika ekonomike je celotna investicija v dograditev ocenjena na 217.694 €. Ob upoštevanju predvidene subvencije v višini 213.521 € znaša neto strošek investicije le 4.173 €. Posledično je enostavna povračilna doba izjemno kratka, le 0,2 leta, kar izkazuje vrhunsko finančno upravičenost naložbe v širitev samooskrbe.

Okoljski doprinos projekta je ključen za trajnostno strategijo naročnika. Z novo sončno elektrarno bo letni prihranek emisij CO₂ znašal 106.624 kg/leto. Projekt dograditve ne le zmanjšuje odvisnosti od nihanj cen na trgu električne energije, temveč Biotehniški center Naklo postavlja kot zgled energetske učinkovitosti in aktivnega upravljanja z obnovljivimi viri prek modela energetske skupnosti.

1 Podatki o objektu

1.1 Podatki o naročniku

Objekt na naslovu Strahinj 99 v Naklem predstavlja izobraževalno in strokovno-razvojno infrastrukturo Biotehniškega centra Naklo, namenjeno izvajanju srednješolskih in poklicnih programov s področij biotehnikе, kmetijstva, živilstva, naravovarstva ter sorodnih dejavnosti. Stavba je namenjena izvajanju pedagoškega procesa, praktičnega usposabljanja, laboratorijskih in strokovnih vaj ter spremljajočih administrativnih in podpornih dejavnosti naročnika.

Uporabniki objekta so pretežno dijaki, strokovni in pedagoški delavci, laboratorijsko in tehnično osebje ter ostali zaposleni, ki uporabljajo prostore za izobraževalne, raziskovalne in upravno-operativne namene. Glede na značaj dejavnosti objekt predstavlja energetska zahtevna stavba z izrazito stalno uporabo električne energije, pri čemer letna poraba znaša 544.765 kWh/leto, skupna priključna moč objekta pa 344 kW.



Slika 1: Objekt Biotehniški center Naklo

1.2 Obstoječe stanje energetske infrastrukture

Objekt Biotehniški center Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo ima letno porabo električne energije 544.765 kWh/leto. Na objektu je že izvedena obstoječa sončna elektrarna moči 89,83 kW,

električno polnjenje vozil ni predvideno, v načrtu pa je tudi električno ogrevanje s toplotno črpalko. Objekt je priključen v okviru sheme Individualna samooskrba po shemi PS.3A.

Merilno mesto MM1, Biotehniški center Naklo, GSRN 6-93327, je priključeno po nizu RTP T0005 RTP TRŽIČ → SN izvod J19 STRAHINJ → TP T1171 STRAHINJ-BIOTEHNIČNA ŠOLA. Priključitev je trifazna, z jakostjo omejevalca 500 A in priključno močjo 344 kW. Številka soglasja za priključitev je 611757-1. Skupna priključna moč vseh merilnih mest na objektu znaša 344 kW.

1.3 Merilna mesta

OZNAKA	MERILNA ŠTEVILKA (GSRN)	LOKACIJA	OBR. SKUPINA	TARIFNI SISTEM	VT (€/MWH)	MT (€/MWH)
Biotehniški center Naklo	6-93327	Strahinj 99, 4202 Naklo	Skupina 1	Dvo- tarifni	121,87	78,80

Tabela 1: Pregled merilnih mest

2 Zakonodajni okvir

2.1 Pravni temelji

Pravni okvir samooskrbe z električno energijo iz obnovljivih virov v Sloveniji temelji predvsem na Energetskem zakonu (EZ-1), ki določa temeljna načela organizacije energetskega trga, pogoje za proizvodnjo in uporabo električne energije ter splošne pravice in obveznosti udeležencev v energetskem sistemu. V okviru tega zakona so opredeljeni tudi pogoji za vključevanje naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov, med katere sodijo tudi fotonapetostni sistemi za lastno oskrbo objektov. EZ-1 tako predstavlja osnovo za nadaljnjo podzakonsko ureditev področja samooskrbe.

Podrobnejša pravila določa Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije, ki ureja tehnične in obračunske pogoje za izvajanje samooskrbe ter razmerja med uporabnikom, distributerjem in dobaviteljem električne energije. Uredba je tesno povezana s sistemom priključitvenih shem po SONDSEE, ki razvršča načine priključitve proizvodnih naprav glede na način obratovanja, velikost sistema in namen uporabe. V praksi ta sistem omogoča enotnejšo obravnavo priključevanja samooskrbnih naprav ter jasno opredeljuje tehnične in administrativne zahteve za vključitev v distribucijsko omrežje.

2.2 Pregled priključitvenih shem

Izbira ustrezne priključitvene sheme je ključna za pravilno integracijo sončne elektrarne v obstoječe notranje instalacije objekta ter za ureditev pogodbenih razmerij z distribucijskim operaterjem. Priključitvena shema PS.1B se uporablja v primerih, ko je primarni namen sončne elektrarne prodaja celotne proizvedene električne energije v distribucijsko omrežje. V tej konfiguraciji se proizvodna naprava obravnava ločeno od odjema, kar pomeni, da se vsa proizvedena energija meri in oddaja neposredno v omrežje, brez neposrednega pokrivanja lastne porabe znotraj objekta.

Za objekte, kjer je poudarek na takojšnji lokalni rabi energije, sta predvideni shemi PS.1C in PS.2. Shema PS.1C predstavlja model lastne rabe brez ločenega merjenja proizvodnje, kjer se energija porablja neposredno na lokaciji, meri pa se le neto oddaja ali prejem na stičišču z omrežjem. Nasprotno shema PS.2 omogoča lastno rabo z ločenim merjenjem proizvodnje preko dodatnega števca. To omogoča natančen nadzor nad celotno količino proizvedene energije (bruto proizvodnja) in hkrati nad količino energije, ki se prevzame iz omrežja, kar je priporočljivo za zahtevnejše objekte, ki potrebujejo natančno energetska bilanco.

V okviru sodobnih energetskih rešitev in samooskrbe sta ključni shemi PS.3A in PS.3B. Priključitvena shema PS.3A je namenjena individualni samooskrbi in omogoča, da se viški proizvedene energije

oddajajo v omrežje, ko proizvodnja presega porabo, ter jemljejo iz njega, ko sončna elektrarna ne zagotavlja dovolj moči. Ta shema se v praksi najpogosteje uporablja za objekte, ki želijo optimizirati stroške preko sistema neto meritev ali novih modelov samooskrbe. Shema PS.3B pa je prilagojena za skupnostno samooskrbo, kjer se energija, proizvedena na eni lokaciji, deli med več končnih odjemalcev oziroma merilnih mest znotraj iste energetske skupnosti.

2.3 Priporočena shema: Individualna samooskrba po shemi PS.3A

PS.3B – skupnostna samooskrba

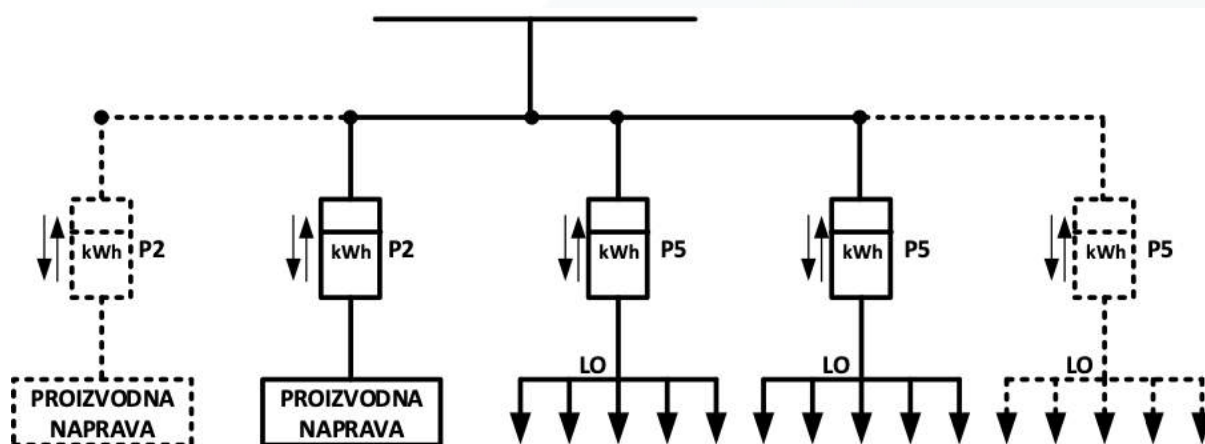
Shema PS.3B pomeni skupnostno samooskrbo, pri kateri nova sončna elektrarna ne oskrbuje le enega odjemnega mesta, temveč skupnost več merilnih mest, ki so medsebojno povezana v okviru pogodbeno in obračunsko določenega sistema delitve proizvedene energije. V praksi to pomeni, da se proizvedena električna energija ne pripisuje izključno enemu objektu, temveč se skladno z dogovorjenimi deleži porazdeli med člane skupnosti samooskrbe. Naročnik lahko na ta način optimizira rabo lokalno proizvedene energije na več lokacijah, vendar mora biti struktura udeležencev in pripadajočih merilnih mest jasno opredeljena že pred priklopom ter usklajena z distributerjem in dobaviteljem električne energije.

Glavna omejitev sheme je, da je delitev energije vezana na formalno določen seznam članov skupnosti in na vnaprej določena razmerja delitve, zato naknadne spremembe niso avtomatske in praviloma zahtevajo administrativno usklajitev. Sistem ne omogoča neomejenega širjenja brez preverjanja tehničnih in pogodbenih pogojev, saj mora biti vsako merilno mesto ustrezno vključeno v skupnostno samooskrbo. Naročnik mora zagotoviti, da so vsi udeleženci pravilno evidentirani, da imajo urejena razmerja med seboj ter da je proizvodna moč elektrarne usklajena s skupno priključno zmogljivostjo in profili porabe članov skupnosti.

Obračun v shemi PS.3B poteka tako, da se najprej ugotovi dejanska proizvodnja elektrarne in nato ta proizvodnja po določenem ključu deli med posamezna merilna mesta. Na vsakem merilnem mestu se nato obračuna razlika med dodeljeno količino energije in dejansko porabo na tem mestu. Če je na posameznem merilnem mestu poraba večja od pripadajočega deleža proizvodnje, se manjkajoča energija obračuna kot prevzem iz omrežja po veljavnih tarifah. Če je dodeljeni delež večji od porabe, se presežek ne porabi na tem mestu, temveč se praviloma prenese v obračun skupnosti po vnaprej določenih pravilih; morebitni končni ostanek po obračunu praviloma predstavlja oddajo v omrežje, pri čemer so pogoji za povračilo odvisni od pogodbenega modela in veljavne regulative.

Za delovanje sheme so nujne ustrezne merilne naprave in komunikacijska infrastruktura, ki omogočata natančno zajemanje proizvodnje in porabe na vseh vključenih merilnih mestih. Običajno so potrebni napredni oziroma intervalni števcji z možnostjo oddaljenega odčitavanja ter podatkovna povezava do obračunskega sistema distributerja ali drugega pooblaščenega upravljavca skupnosti.

Brez zanesljive merilne infrastrukture ni mogoče pravilno izvajati delitve energije, zato mora naročnik pred vzpostavitvijo sheme preveriti, ali so vsi števeci tehnično ustrezni, ali podpirajo zahtevano ločljivost meritev ter ali je zagotovljena sledljivost podatkov za obračun in nadzor delovanja sistema.



Slika.2: Priključna shema PS.3B

3 Opis tehnologij

3.1 Delovanje sončne elektrarne

Sončna elektrarna za svoje delovanje izrablja elektromagnetno valovanje — sončno sevanje. Najpomembnejši gradnik so fotonapetostni moduli, sestavljeni iz sončnih celic, ki delujejo po principu polprevodniške diode. Celice so najpogostejše iz kristalnega silicija (monokristalni ali polikristalni) z ustreznimi primesmi za P-N spoj. Ob vpadu sončne svetlobe na površino celice se na P-N spoju ustvari električno polje in napetost — pojav imenujemo fotoelektrični učinek. Z zaporedno vezavo sončnih celic nastanejo fotonapetostni moduli, ki dajejo enosmerni električni tok. Med moduli so vezane premostitvene diode, ki preprečujejo pregrevanje osenčenih celic in posledično uničenje sistema.

Enosmerni tok iz modulov pretvori razmernik (inverter) v izmenični sinusni tok s frekvenco 50 Hz in napetostjo 230/400 V, primerne za priključitev v elektroenergetsko omrežje. Sodobni razsmerniki vsebujejo senzorje za nadzor in upravljanje — samodejno prilagajajo delovanje glede na trenutno porabo objekta, sončno proizvodnjo in možnost oddaje v omrežje. Med moduli in razsmernikom so lahko nameščeni optimizatorji, ki zagotavljajo neodvisno sledenje točke maksimalne moči posameznega modula. To je posebej pomembno pri delnih sencah ali pri modulih z različnimi orientacijami in nakloni, saj bi brez optimizatorjev modul z najslabšimi pogoji zmanjševal moč vseh z njim zaporedno vezanih modulov.

3.2 Baterijski hranilnik električne energije (BHEE)

Sodobna transformacija energetskega trga in prehod od pasivnega odjema k aktivnemu upravljanju z energijo zahtevata uvedbo virov prožnosti, med katerimi so ključni gradnik baterijski hranilniki električne energije (BHEE). Njihova primarna vloga na objektu je premostitev časovne neusklajenosti med generacijo električne energije iz razpršenih obnovljivih virov, kot je sončna elektrarna, in dejansko porabo uporabnikov v objektu. BHEE kot viri prožnosti pomagajo pri zagotavljanju stabilnega delovanja elektroenergetskega omrežja, kar je ključno v luči nacionalnih načrtov, ki do leta 2035 v Sloveniji predvidevajo do 5.000 MW inštalirane moči sončnih elektrarn in potrebo po vsaj 1.000 MWh kapacitet za shranjevanje.

V inženirski praksi se srečujemo z različnimi tehnologijami shranjevanja, ki se razlikujejo po kemijski sestavi in operativnih karakteristikah. Svinčevo-kislinske baterije (PbA) so ugodne in se visoko reciklirajo, vendar jih omejujejo nizka energijska gostota in počasno polnjenje. Nikelj-kadmijeve (Ni-Cd) tehnologije so robustne, a težko reciklabilne, medtem ko natrij-žveplove (Na-S) in pretočne

baterije nudijo specifike, kot so visoke delovne temperature ali visoka razširljivost, vendar z določenimi omejitvami pri energijski zmogljivosti.

Trenutno na globalnem trgu z več kot 90-odstotnim deležem prevladujejo litij-ionske (Li-ion) tehnologije. Njihova dominanca temelji na visoki energijski gostoti, dolgi življenjski dobi, kompaktnosti in nizki stopnji samopraznjenja. Tehnološko so sestavljene iz anode in katode, ki hranita litij, ter elektrolita, ki prenaša ione. Najpogostejša izvedenka v komercialni rabi je litij-nikelj-mangan-kobalt (NMC), ki nudi optimalno razmerje med specifično energijo in varnostjo delovanja. Zaradi teh karakteristik in namembnosti uporabe na lokaciji naročnika študija v nadaljnjih analizah predvideva uporabo Li-ion tehnologije.

3.3 Življenjska doba in degradacija Li-Ion BHEE

Operativna sposobnost in ekonomska upravičenost investicije v BHEE sta neposredno povezani s profilom degradacije in življenjsko dobo baterijskih celic. Kapaciteta Li-ion sistemov z leti postopoma upada, pri čemer življenjska doba ni fiksno določena v letih, temveč je funkcija intenzivnosti uporabe, izražene skozi število ekvivalentnih polnih ciklov. En ekvivalentni cikel predstavlja popolno napolnitev in izpraznitev baterije do globine 100 %, medtem ko se delni cikli v skupno vsoto prištevajo sorazmerno. Večina proizvajalcev na trgu kupcu jamči ohranitev energetske zmogljivosti za obdobje 120 mesecev, vendar v skladu s predpisanimi profili degradacije.

Dinamiko upada kapacitete narekuje dnevni režim obratovanja in število letnih ciklov. Pri visoki intenzivnosti uporabe, ki predvideva en polni cikel na dan (365 ciklov letno), se pričakuje, da bo kapaciteta po petih letih znašala približno 86,8 %, po desetih letih obratovanja pa bo upadla na okoli 74,7 % nazivne vrednosti. Pri zmernejši uporabi, na primer pol cikla na dan (182 ciklov letno), je degradacija počasnejša, saj sistem po desetletju delovanja ohrani približno 83 % začetne zmogljivosti. Ti podatki kažejo na nujnost skrbnega načrtovanja režima polnjenja in praznjenja.

Pri izbiri dobavitelja in pripravi tehničnih specifikacij je ključnega pomena, da so garancijski pogoji usklajeni z dejanskim predvidenim profilom rabe na objektu. Največje tveganje pri garancijah predstavlja prav način uporabe, saj bo dejansko obratovanje le redko zahtevalo delovanje v točno določenem teoretičnem razponu ciklov. Posebno pozornost je treba nameniti temu, da so garancijski pogoji določeni v skladu z dobrimi praksami, upoštevajoč specifične potrebe zavoda, kar zagotavlja dolgoročno varnost investicije in predvidljivost stroškov vzdrževanja.

3.4 Namembnost in prihranki BHEE

BHEE v kombinaciji s sončno elektrarno omogoča večnamensko izkoriščanje shranjene energije:

– Povečanje stopnje samooskrbe – v kolikor je na objektu nameščena sončna elektrarna je ekonomsko in tehnično smiselno, da se čim večji delež električno energije, ki jo proizvede sončna elektrarna, porabi na samem objektu. V primerih, ko je proizvodnja iz sončne elektrarne višja od trenutne porabe se višek proizvedene električne energije shrani v BHEE in se nato porabi v času, ko je poraba v objektu višja od proizvodnje iz sončne elektrarne. Uporaba BHEE ima pozitiven vpliv, tako na omrežje, kot na prihranke na strani uporabnika, saj s tem, ko se zagotovi, da se električna energija porabi v samem objektu, zniža porabo električne energije iz omrežja, kar za uporabnika pomeni prihranke pri nakupu električne energije in tudi s tem povezane prihranke na omrežninah, ki je odvisna od iz omrežja prejete električne energije. Prav tako se s tem poveča stopnja dejanske samooskrbe ter minimizira prodajo viškov v omrežje, v urah z nizko ceno električne energije (vpliv istočasne velike proizvodnje iz sončnih elektrarn);

– Prihranek premika energije VT/MT/presežek proizvodnje – BHEE se lahko uporabi tudi na način, da se v času nižje tarife (MT) polni, v času visoke tarife (VT) pa prazni, kar uporabniku omogoči, da del energije plača po nižji ceni. Takšen način uporabe BHEE bo predvidoma do izraza prišel v prihodnjih letih, ko bodo določeni dobavitelji skladno s 17. členom zakona o oskrbi z električno energijo (Uradni list RS, št. 172/21), obvezani ponujati pogodbe z dinamičnimi cenami električne energije;

– Nudjenje sistemskih storitev operaterju omrežja – BHEE bodo zaradi svojih tehničnih karakteristik in zmožnosti, da se lahko zelo hitro prilagajajo razmeram na omrežju, v prihodnosti imeli ključno vlogo pri zagotavljanju stabilnosti elektroenergetskega omrežja. Iz vidika uporabnika nudenje sistemskih storitev pomeni dodatno monetizacijo vgrajenega BHEE in s tem izboljšane ekonomskih kazalnikov investicije. Poslovni model vključitve BHEE v sistemske storitve operaterja prenosnega omrežja (ELES), ki jih nudijo agregatorji prožnosti (Kolektor sETup) na elektroenergetskem trgu, omogoča dva vira prihodkov: (a) prihodek za pripravljenost (stalni prihodek) in (b) prihodek za izvedbo zahtevane storitve (prihodek ob aktivaciji);

– Navidezno povišanje priključne moči – z vključitvijo novih porabnikov, kot so toplotne črpalke, polnilna infrastruktura za električna vozila ipd., se poveča tudi potreba po priključni moči, ki pa je v obravnavanih primerih odvisna predvsem od zmožnosti nizkonapetostnega distribucijskega omrežja. Distribucijsko omrežje že sedaj marsikje ne omogoča priključevanje večjega števila dodatnih porabnikov. BHEE lahko v takih primerih odigrajo ključno vlogo, saj lahko za določeno obdobje zagotovijo manjkajočo moč in energijo, ki jo ne bi bilo možno pridobiti iz omrežja brez visokih vložkov v nadgradnjo samega distribucijskega omrežja;

– Zasilni vir napajanja in izboljšanje napetostnih razmer – BHEE lahko, v primeru napetostnih upadov ali celo izpadov, na omrežju zagotovi neprekinjeno napajanje ključnih porabnikov, ki so pomembni za izvajanje dejavnosti v objektu (delovanje po principu UPS).

Pri opravljenih analizah so bili upoštevani in ovrednoteni določeni zgoraj navedeni načini uporabe BHEE električne energije — povečanje stopnje samooskrbe, prihranek premika energije in rezanje konic.

4 Analiza električne porabe

4.1 Profil porabe

Objekt Biotehniški center Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo v obravnavanem obdobju 2025 izkazuje letno porabo električne energije 544.765 kWh, kar pomeni povprečno mesečno porabo približno 45.397 kWh. Poraba je skozi leto razmeroma enakomerno razporejena, vendar z izrazitim zimsko-jesenskim vrhom. Najvišje vrednosti so zabeležene v decembru 52.798 kWh, novembru 51.750 kWh in januarju 51.585 kWh, medtem ko je najnižja poraba v avgustu 31.203 kWh. Razpon med najnižjim in najvišjim mesečnim odjemom znaša 21.595 kWh, kar kaže na zmeren, a jasno prepoznaven sezonski vpliv na rabo energije.

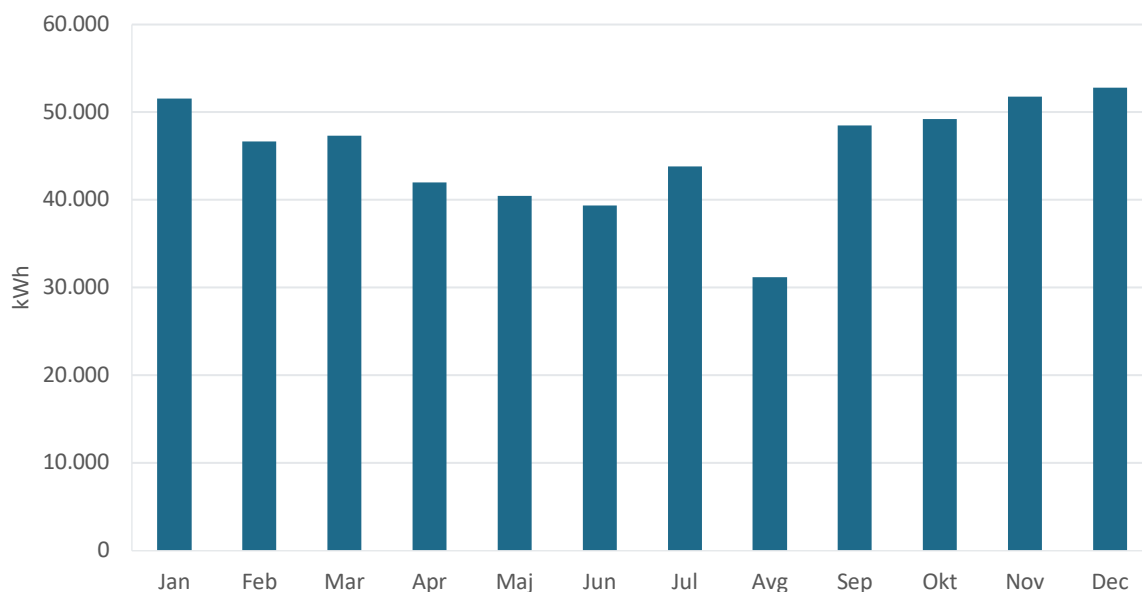
Takšen porabni profil je načeloma dobro usklajen s proizvodnim profilom sončne elektrarne, saj se najvišja proizvodnja praviloma pojavlja v obdobju od aprila do septembra, ko je na voljo največ sončnega obsevanja. Pri objektu je zato pričakovano boljše časovno ujemanje med dnevno proizvodnjo in delovno porabo v spomladanskih ter zgodnjih jesenskih mesecih, zlasti v maju, juniju in septembru, ko so mesečne potrebe še vedno razmeroma visoke zaradi šolskih aktivnosti. Poraba objekta se med poletnimi šolskimi počitnicami sicer nekoliko zniža, a še vseeno ostaja v rangi nad 30 MWh mesečno. V zimskem obdobju, ko poraba ostaja povečana, sončna proizvodnja pa je zaradi krajšega dne in nižjega obsevanja občutno nižja, je ujemanje slabše, zato se večji delež energije praviloma pokriva iz omrežja.

4.2 Mesečna poraba električne energije

MESEC / KAZALNIK	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	SKUPAJ
Poraba (kWh)	51.585	46.689	47.326	42.028	40.431	39.346	43.855	31.203	48.528	49.227	51.750	52.798	544.765

Tabela **Error! No text of specified style in document.2:** Mesečna poraba električne energije

Mesečna poraba električne energije



Grafikon 1: Mesečna poraba električne energije

4.3 Strošek električne energije pred vgradnjo SE — razčlenitev po postavkah

POSTAVKA	CENA NA ENOTO	KOLIČINA	SKUPAJ (€/LETO)
ENERGIJA			
Energija VT (bloki 1–3)	121,87 €/MWh	326,686 MWh	39.813,24 €
Energija MT (bloki 4–5)	78,80 €/MWh	218,078 MWh	17.184,59 €
OMREŽNINA — ENERGIJA			
Blok 1	0,01432 €/kWh	71.307 kWh	1021,11 €
Blok 2	0,01550 €/kWh	154.018 kWh	2387,28 €
Blok 3	0,01270 €/kWh	101.362 kWh	1287,29 €
Blok 4	0,01275 €/kWh	78.257 kWh	997,77 €
Blok 5	0,00906 €/kWh	139.822 kWh	1266,78 €

OMREŽNINA — MOČ			
Blok 1	4,90409 €/kW·mes	694,08 kW·mes	3403,83 €
Blok 2	1,29280 €/kW·mes	1945,60 kW·mes	2515,27 €
Blok 3	0,28782 €/kW·mes	2039,88 kW·mes	587,12 €
Blok 4	0,01070 €/kW·mes	2039,88 kW·mes	21,83 €
Blok 5	0,00175 €/kW·mes	2074,08 kW·mes	3,63 €
PRISPEVKI			
Prispevek operaterja trga (AGEN)	0,00013 €/kWh	544.765 kWh	70,82 €
Prispevek energetske učinkovitosti	0,00080 €/kWh	544.765 kWh	435,81 €
Prispevek OVE/SPTE	2,45255 €/kW·mes	8793,52 kW·mes	21.566,55 €
SKUPAJ			92.562,92 €

Tabela 3: Strošek električne energije pred vgradnjo SE

4.4 Vpliv elektrifikacije ogrevanja

Naročnik Biotehniški Center Naklo na lokaciji Strahinj 99, 4202 Naklo ima trenutno letno porabo elektrike 544.765 kWh, pri čemer predvideno povečanje porabe saj je ogrevanje načrtovano za elektrifikacijo z uvedbo toplotne črpalke voda-voda. Obstoječi energent za ogrevanje je zemeljski plin z letno porabo 862.148 kWh, po elektrifikaciji pa je pričakovana dodatna električna poraba za ogrevanje 172.430 kWh/leto. Prehod z zemeljskega plina na elektriko pomeni neposreden prenos dela toplotnega bremena iz fosilnega energenta v elektroenergetski sistem, kar bistveno spremeni profil porabe objekta. Skupno je tako letna ocena porabe električne energije po elektrifikaciji 739.610 kWh.

Elektrifikacija ogrevanja bo porabo elektrike izrazito povečala v zimskem obdobju, ko je potreba po ogrevanju najvišja in bodo nastajale dodatne zimske konice obremenitve. Letna električna poraba objekta se bo zaradi tega povečala za 172.430 kWh/leto, kar predstavlja pomemben delež glede na obstoječo porabo. Pri priključitveni shemi PS.3B to pomeni, da bo večji del nove porabe nastopal v

obdobjih nižje sončne generacije, zato bo vpliv na porabniški profil izraziteje sezonski in bo zahteval upoštevanje povečane zimske odjeme pri nadaljnjem energetskega načrtovanju.

Postavka	Cena na enoto	Količina	Skupaj (€/leto)
ENERGIJA			
Energija VT (bloki 1–3)	121,87 €/MWh	491,827 MWh	59.938,95 €
Energija MT (bloki 4–5)	78,80 €/MWh	247,783 MWh	19.525,31 €
OMREŽNINA — ENERGIJA			
Blok 1	0,01432 €/kWh	134.527 kWh	1926,43 €
Blok 2	0,01550 €/kWh	219.011 kWh	3394,67 €
Blok 3	0,01270 €/kWh	138.289 kWh	1756,27 €
Blok 4	0,01275 €/kWh	94.280 kWh	1202,07 €
Blok 5	0,00906 €/kWh	153.503 kWh	1390,74 €
OMREŽNINA — MOČ			
Blok 1	4,90409 €/kW·mes	1021,04 kW·mes	5007,29 €
Blok 2	1,29280 €/kW·mes	2434,53 kW·mes	3147,36 €
Blok 3	0,28782 €/kW·mes	2520,95 kW·mes	725,58 €
Blok 4	0,01070 €/kW·mes	2520,95 kW·mes	26,97 €
Blok 5	0,00175 €/kW·mes	2553,23 kW·mes	4,47 €
PRISPEVKI			
Prispevek operaterja trga (AGEN)	0,00013 €/kWh	739.610 kWh	96,15 €
Prispevek energetske učinkovitosti	0,00080 €/kWh	739.610 kWh	591,69 €

Prispevek OVE/SPTE	2,45255 €/kW·mes	11.050,71 kW·mes	27.102,43 €
SKUPAJ			125.836,38 €

Tabela 4: Strošek električne energije pred vgradnjo SE po elektrifikaciji ogrevanja

5 Solarni potencial

5.1 Strešne površine

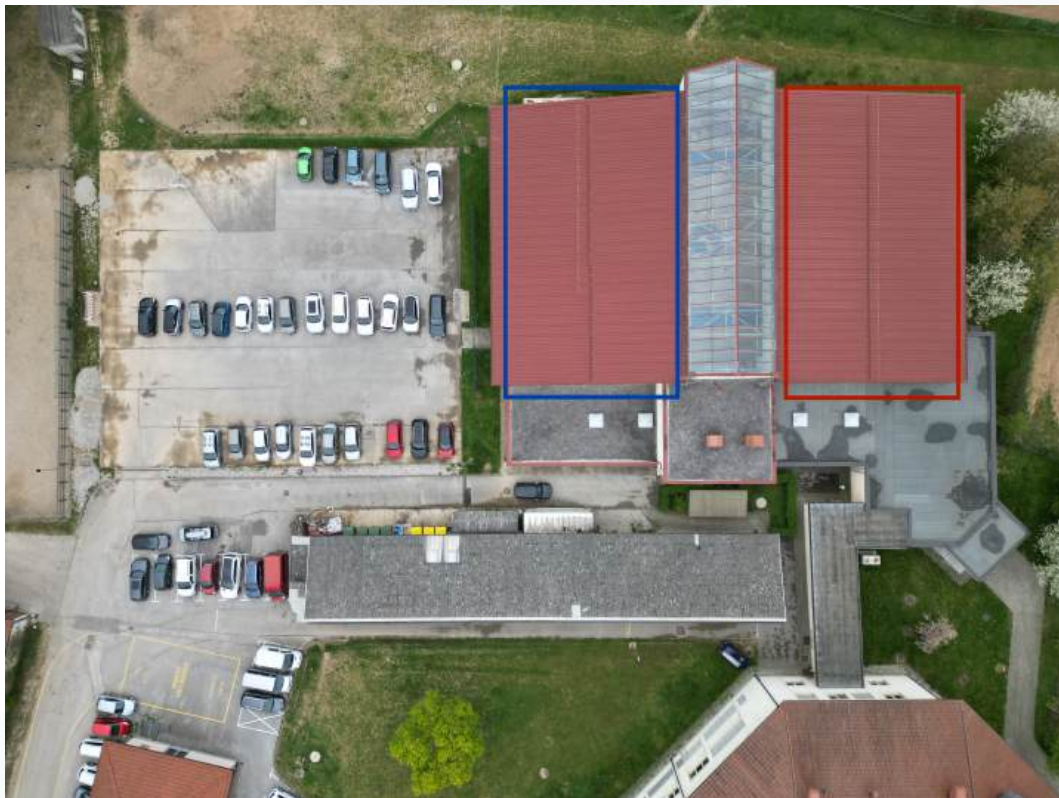
OZNAKA	POVRŠINA (m ²)	NAKLON (°)	AZIMUT (°)	MAX kWp	DONOS (kWh/kWp/LETO)	OBSEVANJE (kWh/m ²)
Telovadnica - jugovzhodna streha	470	15	-37	64,1	1077	1427
Telovadnica - severozahodna streha	470	15	143	64,1	856	1153
Glavni objekt - vzhodna streha	160	25	-81	21,8	986	1310
Glavni objekt - zahodna steha	380	25	110	51,8	872	1169
Glavna stavba - streha nad vhodom v objekt	190	15	55	25,9	1045	1388
Skupaj				227,7		

Tabela 5: Pregled strešnih površin in solarnega potenciala

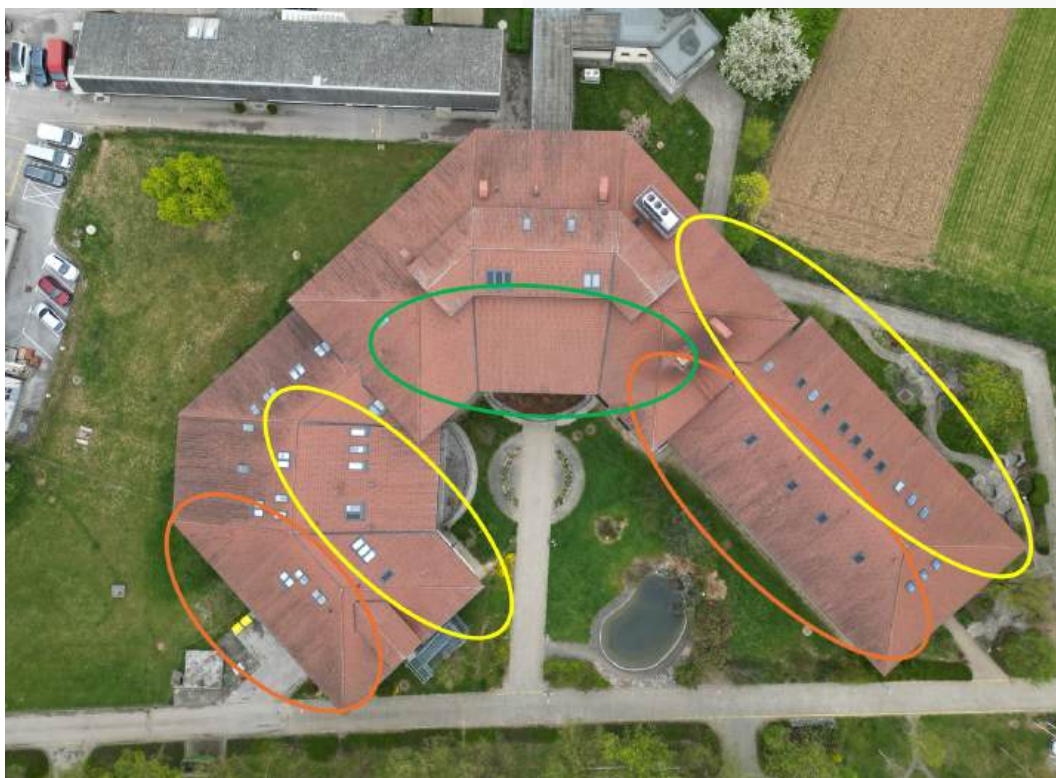
Objekt Biotehniški center Naklo na lokaciji Strahinj 99, 4202 Naklo razpolaga z več razpoložljivimi strešnimi površinami, ki so z vidika vgradnje fotonapetostnega sistema različno ugodne. Telovadnica ima dve veliki strešni površini, in sicer jugovzhodno streho (označeno z rdečo) s koristno površino 470 m², naklonom 15° in azimutom -37°, ter severozahodno streho (označeno z modro) z enako koristno površino 470 m², enakim naklonom 15° in azimutom 143°. Glavni objekt ima vzhodno streho (označeno z rumeno) s 160 m² uporabne površine, naklonom 25° in azimutom -81°, ter zahodno streho (označeno z oranžno) s 380 m² uporabne površine, naklonom 25° in azimutom 110°. Dodatno je na glavni stavbi razpoložljiva še streha nad vhodom v objekt (označeno z zeleno) s 190 m² koristne površine, naklonom 15° in azimutom 55°. Skupna razpoložljiva koristna strešna površina znaša 1.670 m².

Solarni potencial posameznih strešnih ploskev je zaradi različnih orientacij in naklonov različen, vendar v večini primerov ugoden za proizvodnjo električne energije. Najvišji specifični donos je ocenjen na jugovzhodni strehi telovadnice s 1.077 kWh/kWp/leto, sledita streha nad vhodom v objekt s 1.045 kWh/kWp/leto in vzhodna streha glavnega objekta s 986 kWh/kWp/leto. Zahodna streha glavnega objekta dosega 872 kWh/kWp/leto, severozahodna streha telovadnice pa 856 kWh/kWp/leto. Ob upoštevanju maksimalno izkoristljivih moči posameznih površin 64,1 kWp, 64,1 kWp, 21,8 kWp, 51,8 kWp in 25,9 kWp znaša skupni teoretični potencial strešnih površin 227,7 kWp, kar glede na letno porabo elektrike 544.765 kWh/leto predstavlja pomemben tehnični potencial za lastno proizvodnjo električne energije znotraj sheme Individualna samooskrba po shemi PS.3A.

Slika .3: Strešne površine na objektu telovadnice



Slika 4: Strešne površine na objektu šole



5.2 Metodologija izračuna sončnega potenciala

Ocena sončnega potenciala objekta na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo je bila izvedena za točno geografsko lokacijo z GPS koordinatami 46.2834093, 14.3007911. Metodologija temelji na 40-letnih historičnih podatkih o sončnem obsevanju za obravnavano lokacijo, kjer je letno obsevanje $1.427 \text{ kWh/m}^2/\text{leto}$. Na tej osnovi se za objekt, ki je priključen po shemi skupnostne samooskrbe PS.3B, oceni razpoložljiv sončni potencial z upoštevanjem dejanske geometrije strešnih površin in lokalnih klimatskih razmer.

Pri izračunu pričakovane proizvodnje se za vsako strešno površino posebej upoštevajo naklon strehe, orientacija oziroma azimut ter morebitno senčenje zaradi okoliških ovir, dreves in sosednjih objektov. V nadaljevanju se upoštevajo še skupne systemske izgube v višini $-24,6 \%$, ki zajemajo vpliv kablov, razsmernika, temperaturnih izgub in umazanije. Rezultat metodologije so realne mesečne in letne ocene specifične proizvodnje v enoti kWh/kWp/leto , ki omogočajo primerjavo potenciala posameznih strešnih površin ter ustrezno dimenzioniranje sistema glede na letno porabo elektrike objekta, ki znaša 544.765 kWh/leto , in skupno priključno moč 344 kW .

5.3 Pričakovana mesečna proizvodnja

MESEC / KAZALNIK	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AVG	SEP	OKT	NOV	DEC	SKUPAJ
Proizvodnja (kWh)	7152	10.422	17.902	22.981	27.043	30.005	30.994	26.566	19.385	12.949	6656	5548	217.601

Tabela 6: Pričakovana mesečna proizvodnja



Grafikon 2: Pričakovana mesečna sončna proizvodnja

5.4 Primerjava streh in omejitev

Kot primarna strešna površina za postavitve sončne elektrarne se izkaže telovadnica – jugovzhodna streha, saj izkazuje najvišji specifični donos, in sicer 1077 kWh/kWp/leto, ter hkrati največjo razpoložljivo moč 64,1 kWp. Med zelo primernimi površinami je tudi streha nad vhodom v objekt z donosom 1045 kWh/kWp/leto in razpoložljivo močjo 25,9 kWp. V naslednji prioriteti sta vzhodna streha glavnega objekta z donosom 986 kWh/kWp/leto in največ 21,8 kWp ter zahodna streha glavnega objekta z donosom 872 kWh/kWp/leto in največ 51,8 kWp. Najmanj primerna je telovadnica – severozahodna streha, kjer je zaradi nižjega donosa 856 kWh/kWp/leto solarna izraba manj ugodna, čeprav je površina še vedno tehnično uporabna.

Skupni razpoložljivi potencial vseh obravnavanih površin znaša 227,7 kWp, kar predstavlja pomemben delež glede na skupno priključno moč objekta 344 kW in je s priključitveno shemo PS.3B

tehnično smiselno za obravnavo. Pri razporejanju je treba upoštevati, da so severozahodna streha telovadnice in zahodna streha glavnega objekta manj ugodni zaradi orientacije, nižjega specifičnega donosa in večje občutljivosti na jutranje oziroma popoldansko senčenje. Glede na letno porabo elektrike 544.765 kWh/leto bi bil projekt z izkoriščenjem primarnih in sekundarnih površin energetske zelo relevanten, pri čemer je za optimalno zasnovo priporočljivo prednostno zapolniti površine z najvišjim donosom in šele nato preiti na manj ugodne strehe.



Slika 5: Postavitev modulov na objektu telovadnice



Slika 6: Postavitve modulov na strehi šole

6 Dimenzioniranje sistema

6.1 Metodologija dimenzioniranja

Dimenzioniranje sončne elektrarne za objekt na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo je bilo izvedeno na podlagi kriterija direktne kompenzacije, pri čemer je ciljna vrednost postavljena na najmanj 85 %. Direktna kompenzacija pomeni delež trenutne proizvodnje sončne elektrarne, ki se v istem 15-minutnem obračunskem intervalu porabi neposredno znotraj objekta, brez prehoda energije v omrežje in brez kasnejšega vračanja iz omrežja. Tak pristop je pri shemi skupnostne samooskrbe ključen, ker zagotavlja visoko stopnjo lastne rabe proizvedene energije ter zmanjšuje izpostavljenost naročnika cenovnim nihanjem električne energije in obračunskih postavk omrežja.

Za predmetni objekt znaša inštalirana moč 227,7 kWp, letna poraba pa 544.765 kWh/leto, kar pomeni, da je sistem dimenzioniran v razmerju, ki odraža visoko usklajenost proizvodnega profila s porabnim profilom objekta. Pomemben spremljevalni kazalnik je tudi BHEE, ki pri tej zasnovi znaša 215 kWh/100 kW, pri čemer je dosežena samooskrba 33,2 %. BHEE predstavlja specifično letno energijo, ki jo sistem zagotovi ob upoštevanju hranilnika električne energije, in se uporablja kot dopolnilna metrika pri oceni učinkov shranjevanja.

Metodologija temelji na večstopenjskem simulacijskem postopku. Najprej se določijo robni pogoji, pri čemer je največja moč sistema omejena z razpoložljivo strešno površino, orientacijo in naklonom posameznih strešnih ploskev ter s senčenjem. Nato se na podlagi 40-letnih historičnih podatkov o sončnem obsevanju za konkretno lokacijo izračuna proizvodni profil za vsako strešno površino posebej, pri čemer se upoštevajo naklon, azimut, senčenje in sistemske izgube, kot so izgube v kablilih, razsmerniku in zaradi temperature. Rezultat je 15-minutni profil specifične proizvodnje za celo leto, ki se nato primerja z dejanskim 15-minutnim odjemom električne energije za vsa merilna mesta objekta.

Optimalna moč se določi z bisekcijsko metodo, ki iterativno išče največjo možno inštalirano moč, pri kateri je pogoj direktne kompenzacije $\geq 85 \%$ še vedno izpolnjen. Pri rešitvah z baterijskim hranilnikom se optimizacija izvede na osnovi enake metrike, ki pa poleg neposredne kompenzacije upošteva tudi energijo, shranjeno v bateriji in kasneje oddano v času porabe. Za izbrano priključitveno shemo PS.3B je takšen pristop ustrezen, ker omogoča tehnično in ekonomsko usklajevanje proizvodnje, porabe in morebitnega shranjevanja energije.

7 Predlagana rešitev brez elektrifikacije ogrevanja

7.1 Pregled variant

Preglednica variant moči sončne elektrarne je pripravljena z namenom primerjave tehnične in ekonomske ustreznosti različnih velikosti sistema za objekt Biotehniški Center Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo, priključenega po shemi PS.3B. Za zagotavljanje skladnosti s pravili priključnih shem po SONDSEE je potrebno na lokaciji vzpostaviti še eno merilno mesto in nanj prevezati delež porabnikov. Za vsako variantno moč so prikazani ključni kazalniki, pri čemer letna proizvodnja izraža ocenjen letni obseg proizvedene električne energije, direktna kompenzacija pa delež proizvedene energije, ki se porabi neposredno na objektu brez oddaje v omrežje. Investicija prikazuje skupni strošek izvedbe, povračilna doba pa čas, v katerem se z ustvarjenimi prihranki povrne vložek; pri obstoječi elektrarni z inštalirano močjo 227,7 kWp, letno proizvodnjo 218.028 kWh/leto, direktna kompenzacija 96,3 % in neto investicijo 3.098 € je enostavna povračilna doba 0,1 leta. Preglednico je treba brati tako, da se med variantami primerja predvsem razmerje med proizvodnjo, stopnjo neposredne rabe in ekonomiko, ob upoštevanju letne porabe objekta 544.765 kWh/leto, skupne priključne moči 344 kW in pričakovanega letnega CO₂ prihranka 106.834 kg/leto.

7.2 Direktna kompenzacija s BHEE po mesecih

Mesec	Poraba (kWh)	Prod. dejanska (kWh)	Dir. komp. s BHEE
Jan	51.585	7199	101.2 %
Feb	46.689	10.474	100.0 %
Mar	47.326	17.958	99.5 %
Apr	42.028	23.013	98.6 %
Maj	40.431	27.055	98.6 %
Jun	39.346	30.011	94.4 %
Jul	43.855	31.006	94.4 %
Avg	31.203	26.598	85.9 %
Sep	48.528	19.434	99.0 %

Okt	49.227	13.006	100.0 %
Nov	51.750	6692	100.0 %
Dec	52.798	5582	100.0 %

7.3 Priporočena rešitev — tehnični parametri

Tip sistema	Sončna elektrarna + baterijski hranilnik (BHEE)
Inštalirana moč SE	227,7 kWp
Kapaciteta BHEE	215 kWh / 100 kW
Letna pričakovana proizvodnja	218.028 kWh/leto
Letna poraba (izhodišče)	544.765 kWh/leto
P:C razmerje	1 : 2.9
Direktna kompenzacija	96.3 %
Letni odjem iz omrežja (po SE)	318.595 kWh/leto
Letna oddaja v omrežje	8142 kWh/leto

Tabela 7: Tehnični parametri priporočene rešitve

7.4 Operativni kazalniki baterijskega hranilnika (BHEE)

Način krmiljenja	Optimizacija lastne rabe
Ekvivalentni polni cikli / leto	90 ciklov/leto
Skupna energija shranjena v BHEE	36.059 kWh/leto
Letna energija iztočena iz BHEE	36.145 kWh/leto
Stopnja samooskrbe (po BHEE)	33.3 %

Priporočena rešitev za objekt Biotehniški center Naklo na naslovu Strahinj 99 predvideva kombinacijo sončne elektrarne moči 227,7 kWp in baterijskega hranilnika električne energije (BHEE) kapacitete 215 kWh / 100 kW v okviru priključitvene sheme PS.3B. Konfiguracija je bila izbrana zaradi velike letne porabe električne energije objekta, ki znaša 544.765 kWh/leto, in razmeroma visoke skupne priključne moči 344 kW, pri čemer obstoječa SE že dosega letno proizvodnjo 218.028 kWh/leto. S kombinacijo SE in hranilnika se doseže direktna kompenzacija 96,3 %, samooskrba 33,3 % ter letni odjem po SE v višini 318.595 kWh/leto, kar potrjuje, da rešitev pomembno zmanjšuje prevzem energije iz omrežja in izboljšuje energijsko pokritost objekta.

BHEE pri tej rešitvi dopolnjuje solarni sistem predvsem z optimizacijo lastne rabe. Presežki proizvodnje, ki bi bili sicer oddani v omrežje, se deloma shranjujejo in nato uporabljajo v času večje odjemne moči oziroma manjšega sončnega obsevanja. Pri predvidenem obratovanju se letno v hranilniku akumulira 36.059 kWh, pri čemer je predvidenih 90 ekvivalentnih ciklov na leto. Tak režim omogoča zmanjšanje dnevnih in časovnih neujemanj med proizvodnjo SE in porabo objekta, hkrati pa prispeva k stabilnejšemu pokrivanju porabnikov in k nižji letni oddaji v omrežje, ki znaša 8.142 kWh/leto.

Izbrana konfiguracija prinaša tudi izrazite ekonomske in okoljske koristi. Skupna investicija 217.694 € je skoraj v celoti pokrita s subvencijo 214.596 €, zato je neto investicija 3.098 € in s tem enostavna povračilna doba 0,1 leta. Letni prihranek emisij CO₂ znaša 106.834 kg/leto, kar potrjuje pomemben prispevek k razogljičenju energetike objekta. Rešitev je zato tehnično in ekonomsko utemeljena, saj združuje obstoječo proizvodno zmogljivost, izboljšano izrabo energije in učinkovit operativni režim BHEE za potrebe objekta z visoko in raznoliko porabo električne energije.

7.5 Struktura investicije

Sončna elektrarna (227,7 kWp × 720 €/kWp)	163.944 €
Baterijski hranilnik (215 kWh × 250 €/kWh)	53.750 €
Skupna bruto investicija	217.694 €
Nepovratna sredstva (subvencija)	– 214.596 €
Neto investicija (po subvenciji)	3098 €

Tabela 8: Struktura investicije

Investicija je sestavljena iz dveh ključnih sklopov: sončne elektrarne v vrednosti 163.944 € oziroma 227,7 kWp × 720 €/kWp ter BHEE v vrednosti 53.750 € oziroma 215 kWh × 250 €/kWh, kar skupaj znese 217.694 €. Ob upoštevanju subvencije v višini 214.596 € je neto investicija za naročnika 3.098 €, zato je projekt izrazito podprt z javnimi finančnimi spodbudami. Takšna struktura financiranja bistveno izboljša ekonomsko upravičenost naložbe, omogoča zelo nizko lastno udeležbo in posledično rezultira v enostavni povračilni dobi 0,1 leta, pri čemer ima subvencija ključno vlogo pri zmanjšanju investicijskega bremena in pospešitvi vračila vloženih sredstev.

7.6 Letni prihranki in povračilna doba

Postavka	Pred SE (€/leto)	Po SE (€/leto)	Prihranek (€/leto)
Strošek energije (VT/MT/ET)	56.998	36.648	20.350
Omrežnina — moč	6532	5767	765
Omrežnina — energija	6960	4492	2468
Prispevek operaterja (AGEN)	71	48	23
Prispevek za učinkovito rabo	436	292	143
Prispevek OVE/SPTE	21.567	18.130	3436
SKUPAJ	92.563	65.377	27.186

Tabela g: Strošek električne energije po vgradnji SE

7.7 Razčlenitev stroška električne energije po vgradnji SE

Postavka	Cena na enoto	Količina	Skupaj (€/leto)
ENERGIJA			
Energija VT (bloki 1–3)	121,87 €/MWh	182,310 MWh	22.218,07 €
Energija MT (bloki 4–5)	78,80 €/MWh	183,116 MWh	14.429,58 €

OMREŽNINA — ENERGIJA			
Blok 1	0,01432 €/kWh	53.494 kWh	766,03 €
Blok 2	0,01550 €/kWh	66.458 kWh	1030,10 €
Blok 3	0,01270 €/kWh	62.358 kWh	791,95 €
Blok 4	0,01275 €/kWh	66.423 kWh	846,89 €
Blok 5	0,00906 €/kWh	116.694 kWh	1057,25 €
OMREŽNINA — MOČ			
Blok 1	4,90409 €/kW·mes	642,64 kW·mes	3151,55 €
Blok 2	1,29280 €/kW·mes	1628,89 kW·mes	2105,82 €
Blok 3	0,28782 €/kW·mes	1697,19 kW·mes	488,49 €
Blok 4	0,01070 €/kW·mes	1697,19 kW·mes	18,16 €
Blok 5	0,00175 €/kW·mes	1726,42 kW·mes	3,02 €
PRISPEVKI			
Prispevek operaterja trga (AGEN)	0,00013 €/kWh	365.426 kWh	47,51 €
Prispevek energetske učinkovitosti	0,00080 €/kWh	365.426 kWh	292,34 €
Prispevek OVE/SPTE	2,45255 €/kW·mes	7392,34 kW·mes	18.130,07 €
SKUPAJ			65.376,81 €

Tabela 10: Strošek električne energije po vgradnji SE

Letni prihranek	27.186 €
Enostavna povračilna doba (bruto)	0,1 let
Enostavna povračilna doba (neto)	0,1 let

Letni prihranek pri obravnavanem objektu je določen kot razlika med letnim stroškom elektrike pred vključitvijo sončne elektrarne in letnim stroškom po njeni vključitvi. Pri naročniku Biotehniški Center Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo je letni strošek elektrike pred SE ocenjen na 92.563 €, po vključitvi obstoječe sončne elektrarne z inštalirano močjo 227,7 kWp pa na 65.377 €. Tako izračunan letni prihranek znaša 27.186 € na leto. Prihranek je posledica predvsem visoke letne proizvodnje elektrarne, ki dosega 218.028 kWh/leto, ter visoke direktne kompenzacije v višini 96,3 %, kar pomeni, da se velik delež proizvedene energije porabi neposredno v objektu in zato zmanjšuje prevzem električne energije iz omrežja. Na rezultat vplivata tudi letna poraba elektrike objekta v višini 544.765 kWh/leto, priključna moč 344 kW ter razmerje med proizvodnjo in porabo, ki določa obseg samooskrbe v višini 33,3 %.

Enostavna povračilna doba predstavlja razmerje med neto investicijo in letnim prihrankom ter izraža, v koliko letih se investicija povrne z ustvarjenimi letnimi denarnimi tokovi. Pri obravnavanem primeru je skupna investicija 217.694 €, ob upoštevanju subvencije v višini 214.596 € pa neto investicija znaša 3.098 €. Ob letnem prihranku 27.186 € to pomeni enostavno povračilno dobo 0,1 leta, kar kaže na izrazito ugoden ekonomski učinek zaradi zelo visokega deleža nepovratnih sredstev. Pri interpretaciji je treba upoštevati, da enostavna povračilna doba ne vključuje prihodnjih sprememb cen elektrike, stroškov vzdrževanja, degradacije modulov ali drugih obratovalnih vplivov, temveč prikazuje osnovni primerjalni kazalnik ekonomske učinkovitosti naložbe. V naslednjem poglavju je razčlenjena še dejanska povračila doba z upoštevanjem naštetih dejavnikov.

7.8 ROI analiza — 30-letna projekcija

Leto	Nominalni tok (€)	Diskontirani tok (€)	Kumulativni NPV (€)
1	27.186	26.140	23.042
2	27.730	25.638	48.680
3	28.284	25.145	73.825
4	28.850	24.661	98.486
5	29.427	24.187	122.673
6	30.016	23.722	146.395
7	30.616	23.266	169.661

8	31.228	22.818	192.479
9	31.853	22.379	214.858
10	32.490	21.949	236.807
11	33.140	21.527	258.334
12	33.803	21.113	279.447
13	34.479	20.707	300.154
14	35.168	20.309	320.463
15	35.871	19.918	340.381
16	36.589	19.535	359.916
17	37.321	19.159	379.075
18	38.067	18.791	397.866
19	38.828	18.430	416.296
20	39.605	18.075	434.371
21	40.397	17.728	452.099
22	41.205	17.387	469.486
23	42.029	17.052	486.538
24	42.870	16.724	503.262
25	43.727	16.403	519.665
26	44.602	16.087	535.753
27	45.494	15.778	551.531
28	46.404	15.475	567.005
29	47.332	15.177	582.182

30	48.278	14.885	597.067
-----------	---------------	---------------	----------------

Tabela 11: ROI analiza — 30-letna projekcija

NPV (30 let)	597.067 €
Diskontirana povračilna doba	1 let
Diskontna stopnja (WACC)	4 %
Predpostavljena inflacija	2 %

Pri 30-letni projekciji je bila za objekt Biotehniški Center Naklo upoštevana priključitvena shema PS.3B, obstoječa sončna elektrarna z inštalirano močjo 227,7 kWp ter letno proizvodnjo 218.028 kWh/leto. Glede na letno porabo elektrike 544.765 kWh/leto in skupno priključno moč objekta 344 kW sistem dosega direktno kompenzacijo 96,3 %, BHEE 215 kWh/100 kW ter samooskrbo 33,3 %. Pri finančni oceni je bila uporabljena zahtevana donosnost kapitala oziroma diskontna stopnja WACC 4 %, inflacija 2 % pa vpliva na nominalni prikaz prihodnjih denarnih tokov. Neto sedanja vrednost (NPV) v višini 597.067 € pomeni, da projekt v 30-letnem obdobju ustvarja pomembno presežno vrednost nad stroškom kapitala; pozitivna NPV potrjuje ekonomsko upravičenost investicije, saj diskontirani prihodki iz prihrankov, zmanjšanih stroškov energije in koristi proizvodnje presegajo začetni vložek.

Diskontirani denarni tokovi predstavljajo prihodnje letne koristi projekta, preračunane na današnjo vrednost z upoštevanjem WACC, zato so poznejši prihranki vrednoteni manj kot neposredni prihranki v začetnih letih. Diskontirana povračilna doba 1 leto pomeni, da objekt povrne začetno investicijo v današnji vrednosti zelo hitro, kar je skladno tudi z izračunano enostavno povračilno dobo 0,1 leta pri neto investiciji 3.098 € po upoštevanju subvenciji 214.596 € na skupno investicijo 217.694 €. Ključna ugotovitev ROI analize je, da ima sistem zaradi visoke subvencijske podpore izjemno ugoden finančni profil, hkrati pa z letnim CO₂ prihrankom 106.834 kg/leto pomembno prispeva tudi k razogljičenju objekta; dolgoročno je projekt izrazito ekonomsko smiselno in finančno zelo robusten tudi ob konservativni diskontni stopnji 4 %.

7.9 Okoljski vpliv

Letna sončna proizvodnja	218.028 kWh/leto
--------------------------	------------------

Emisijski faktor (SLO mreža, ARSO)	0.49 kgCO ₂ /kWh
Letni prihranek CO ₂	106.834 kg / 106,83 tCO₂
Prihranek v 30 letih	3205,0 tCO ₂
Ekvivalent: km z avtomobilom / leto	890.281 km
Ekvivalent: posajenih dreves / leto	≈ 4856 dreves

Tabela 12: Okoljski vpliv vgradnje SE

Vgradnja sončne elektrarne z inštalirano močjo 227,7 kWp na objektu Biotehniškega centra Naklo na naslovu Strahinj 99 ima neposreden pozitiven vpliv na zmanjševanje emisij toplogrednih plinov, saj letno proizvede 218.028 kWh električne energije. Pri izračunu okoljskega vpliva se uporablja emisijski faktor slovenskega elektroenergetskega sistema, ki znaša 0,49 kgCO₂/kWh po podatkih ARSO, kar pomeni količino izpustov ogljikovega dioksida, ki bi nastala pri proizvodnji enake količine elektrike iz omrežja. Na tej osnovi sončna elektrarna letno zmanjša emisije za 106.834 kg CO₂ oziroma 106,83 t CO₂, kar je okoljsko primerljivo z izpusti približno 600.000 km vožnje z osebnim avtomobilom ob povprečnem izpustu 0,18 kg CO₂/km.

V 30-letni obratovalni perspektivi elektrarna prispeva k skupnemu zmanjšanju emisij za 3.205,0 t CO₂, kar predstavlja dolgoročno in pomembno razbremenitev okolja ter zmanjšanje odvisnosti od električne energije iz omrežja. Takšen prihranek je primerljiv z letnim vezanjem ogljika več kot 145.000 dreves v obdobju 30 let, oziroma v povprečju z delovanjem več tisoč dreves skozi celotno življenjsko dobo sistema. Ob upoštevanju, da je direktna kompenzacija dosežena v 96,3 % in da je samozadostnost objekta 33,3 %, sistem pomembno prispeva k razogljičenju porabe elektrike na lokaciji in k izboljšanju okoljskega profila objekta.

8 Predlagana rešitev z elektrifikacijo ogrevanja

8.1 Pregled variant

Preglednica variant moči sončne elektrarne je namenjena primerjavi tehnične in ekonomske učinkovitosti posameznih izvedb sistema za objekt Biotehniški Center Naklo na lokaciji Strahinj 99, 4202 Naklo. V njej so za priključitveno shemo PS.3B prikazani ključni kazalniki, ki omogočajo presojo optimalne rešitve glede na letno porabo elektrike objekta z dodano predvideno porabo toplotne črpalke, ki znaša 739.610 kWh/leto, in obstoječo sončno elektrarno z inštalirano močjo 227,7 kWp. Letna proizvodnja predstavlja pričakovano količino proizvedene električne energije v enem letu, direktna kompenzacija pa delež proizvedene energije, ki se porabi neposredno v objektu; v obravnavanem primeru znaša 96,8 %, kar pomeni zelo visoko pokritost lastne porabe v trenutku proizvodnje. Investicija prikazuje skupni strošek izvedbe, subvencija razpoložljiva nepovratna sredstva, neto investicija pa dejanski finančni vložek naročnika po upoštevanju subvencije; enostavna povračilna doba izraža, v kolikšnem času se neto investicija povrne z ustvarjenimi letnimi prihranki. Preglednico je treba brati tako, da se primerjajo višina proizvodnje, stopnja direktna kompenzacija, stroškovna zahtevnost in povračilni čas, pri čemer ugodnejša rešitev praviloma združuje višjo uporabnost energije, manjšo neto investicijo in krajšo povračilno dobo; pri obravnavani rešitvi so ti kazalniki podprti tudi z ocenjenim letnim CO₂ prihrankom 106.834 kg/leto.

Moduli	Kapaciteta (kWh)	Moč (kW)	Opt. kWp	Dir. komp. s BHEE (%)	Samooskrba (%)	Odjem omrežje (kWh)	Cikli/leto
1× ★	215	100	227,7	96.8 %	25.6 %	614.638	66
2×	430	200	227,7	99.2 %	26.2 %	609.395	45

Tabela 13: Primerjava variant sistemov BHEE

8.2 Direktna kompenzacija s BHEE po mesecih — 1 × (215 kWh / 100 kW), 227,7 kWp

Mesec	Poraba (kWh)	Prod. dejanska (kWh)	Dir. komp. s BHEE
Jan	89.520	7199	101.2 %

Feb	77.726	10.474	100.0 %
Mar	73.190	17.958	100.0 %
Apr	59.271	23.013	99.9 %
Maj	49.052	27.055	100.0 %
Jun	41.070	30.011	95.5 %
Jul	43.855	31.006	94.4 %
Avg	31.203	26.598	85.9 %
Sep	51.977	19.434	99.5 %
Okt	63.021	13.006	100.0 %
Nov	75.890	6692	100.0 %
Dec	83.835	5582	100.0 %

8.3 Priporočena rešitev — tehnični parametri

Tip sistema	Sončna elektrarna + baterijski hranilnik (BHEE)
Inštalirana moč SE	227,7 kWp
Kapaciteta BHEE	215 kWh / 100 kW
Letna pričakovana proizvodnja	218.028 kWh/leto
Letna poraba (izhodišče)	825.785 kWh/leto
P:C razmerje	1 : 3.8
Direktna kompenzacija	96.8 %
Letni odjem iz omrežja (po SE)	614.638 kWh/leto
Letna oddaja v omrežje	6967 kWh/leto

Tabela 14: Tehnični parametri priporočene rešitve

8.4 Operativni kazalniki baterijskega hranilnika (BHEE)

Način krmiljenja	Optimizacija lastne rabe
Ekvivalentni polni cikli / leto	66 ciklov/leto
Skupna energija shranjena v BHEE	26.401 kWh/leto
Letna energija iztočena iz BHEE	26.487 kWh/leto
Stopnja samooskrbe (po BHEE)	25.6 %

Za objekt Biotehniški Center Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo je priporočena kombinirana rešitev sončne elektrarne in baterijskega hranilnika električne energije (SE + BHEE) v okviru priključitvene sheme PS.3B. Izbrana konfiguracija vključuje obstoječo sončno elektrarno z inštalirano močjo 227,7 kWp, ki letno proizvede 218.028 kWh električne energije, ter BHEE kapacitete 215 kWh / 100 kW. Rešitev je bila izbrana zaradi ugodnega razmerja med proizvodnjo in porabo objekta, saj letna poraba elektrike znaša 739.610 kWh/leto, priključna moč objekta pa 344 kW, zato je smiselno dodatno povečati delež lastne porabe in omejiti viške oddaje v omrežje.

BHEE je zasnovan za optimizacijo lastne rabe, kar pomeni, da prekomerno proizvodnjo sončne elektrarne začasno shrani in jo nato uporabi v obdobjih povečanega odjema oziroma zmanjšane proizvodnje. Na ta način sistem dosega 25,6 % samooskrbo, direktno kompenzacijo 96,8 % in letni odjem po SE 614.638 kWh/leto, pri čemer je letna oddaja v omrežje omejena na 6.967 kWh/leto. Baterijski hranilnik s skupno letno shranjeno energijo 26.401 kWh in 66 ekvivalentnimi cikli letno izboljšuje izkoristek proizvedene energije, zmanjšuje obremenitve omrežja in zvišuje fleksibilnost obratovanja objekta.

Predlagana rešitev prinaša tudi izrazite ekonomske in okoljske učinke. Skupna investicija 217.694 € je praktično v celoti pokrita s subvencijo v višini 214.596 €, zato znaša neto investicija le 3.098 €, enostavna povračilna doba pa 0,1 leta. Letni prihranek emisij CO₂ znaša 106.834 kg/leto, kar potrjuje visok okoljski učinek rešitve. Operativno sistem deluje tako, da SE primarno napaja trenutne porabnike, presežki pa se usmerjajo v BHEE; ob pomanjkanju proizvodnje se energija iz baterije vrača v lastno rabo objekta, s čimer se poveča energetska neodvisnost in stabilnost oskrbe.

8.5 Struktura investicije

Sončna elektrarna (227,7 kWp × 720 €/kWp)	163.944 €
Baterijski hranilnik (215 kWh × 250 €/kWh)	53.750 €
Skupna bruto investicija	217.694 €
Nepovratna sredstva (subvencija)	– 214.596 €
Neto investicija (po subvenciji)	3.098 €

Tabela 15: Struktura investicije

Predmetna investicija za objekt Biotehniški center Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo obsega kombinacijo obstoječe sončne elektrarne z inštalirano močjo 227,7 kWp in hranilnika električne energije s kapaciteto 215 kWh. Skupna ocenjena investicijska vrednost znaša 217.694 €, pri čemer je 163.944 € pripisanih sončni elektrarni po enotni investicijski vrednosti 720 €/kWp, 53.750 € pa hranilniku po vrednosti 250 €/kWh. Glede na letno proizvodnjo 218.028 kWh in letno porabo elektrike 739.610 kWh je sistem zasnovan na priključitveni shemi PS.3B, pri čemer je dosežena visoka direktna kompenzacija v višini 96,8 % ter 25,6-odstotna samooskrba.

Ekonomska upravičenost investicije je izrazito odvisna od javnofinančne podpore, saj predvidena subvencija v višini 214.596 € skoraj v celoti pokrije investicijski strošek in zniža neto investicijo na 3.098 €. Takšna kapitalska struktura omogoča zelo kratko enostavno povračilno dobo 0,1 leta, pri čemer je možnost financiranja v praksi lahko zasnovana bodisi z lastnimi sredstvi bodisi z kombinacijo lastnih sredstev in zunanjih virov, vendar je pri tej investiciji ključna vloga subvencije, saj neposredno določa ekonomsko izvedljivost projekta. Poleg finančnega učinka se investicija odraža tudi v pomembnem okoljskem učinku, saj je ocenjen letni prihranek emisij CO₂ 106.834 kg/leto.

8.6 Letni prihranki in povračilna doba

Postavka	Pred SE (€/leto)	Po SE (€/leto)	Prihranek (€/leto)
Strošek energije (VT/MT/ET)	79.464	58.139	21.325
Omrežnina — moč	8912	8188	724

Omrežnina — energija	9670	7086	2584
Prispevek operaterja (AGEN)	96	72	24
Prispevek za učinkovito rabo	592	442	150
Prispevek OVE/SPTE	27.102	23.834	3268
SKUPAJ	125.836	97.761	28.075

Tabela 16: Strošek električne energije po vgradnji SE

8.7 Razčlenitev stroška električne energije po vgradnji SE

Postavka	Cena na enoto	Količina	Skupaj (€/leto)
ENERGIJA			
Energija VT (bloki 1–3)	121,87 €/MWh	339,237 MWh	41.342,87 €
Energija MT (bloki 4–5)	78,80 €/MWh	213,150 MWh	16.796,18 €
OMREŽNINA — ENERGIJA			
Blok 1	0,01432 €/kWh	116.324 kWh	1665,76 €
Blok 2	0,01550 €/kWh	125.448 kWh	1944,45 €
Blok 3	0,01270 €/kWh	97.465 kWh	1237,81 €
Blok 4	0,01275 €/kWh	83.291 kWh	1061,96 €
Blok 5	0,00906 €/kWh	129.858 kWh	1176,52 €
OMREŽNINA — MOČ			
Blok 1	4,90409 €/kW·mes	973,68 kW·mes	4775,02 €
Blok 2	1,29280 €/kW·mes	2129,81 kW·mes	2753,42 €

Blok 3	0,28782 €/kW·mes	2195,12 kW·mes	631,80 €
Blok 4	0,01070 €/kW·mes	2195,12 kW·mes	23,49 €
Blok 5	0,00175 €/kW·mes	2224,35 kW·mes	3,89 €
PRISPEVKI			
Prispevek operaterja trga (AGEN)	0,00013 €/kWh	552.387 kWh	71,81 €
Prispevek energetske učinkovitosti	0,00080 €/kWh	552.387 kWh	441,91 €
Prispevek OVE/SPTE	2,45255 €/kW·mes	9718,09 kW·mes	23.834,10 €
SKUPAJ			97.760,99 €

Tabela 17: Strošek električne energije po vgradnji SE

Letni prihranek	28.075 €
Enostavna povračilna doba (bruto)	0,1 let
Enostavna povračilna doba (neto)	0,1 let

Letni prihranek pri električni energiji je pri objektu na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo ocenjen na 28.075 € letno, pri čemer se letni strošek elektrike zmanjša iz 125.836 € pred izvedbo sončne elektrarne na 97.761 € po njeni vključitvi v obratovanje. Izračun prihranka temelji na primerjavi letnih stroškov oskrbe z električno energijo v obstoječem stanju in po uvedbi sistema s priključitveno shemo PS.3B, pri čemer prihranek neposredno pogojujejo letna proizvodnja elektrarne 218.028 kWh/leto, zelo visok delež direktne kompenzacije 96,8 % ter razmerje med proizvodnjo in porabo objekta, ki znaša 739.610 kWh/leto. Na višino prihranka vplivajo tudi tarifna struktura odjema, lastna poraba proizvedene energije ter obseg energije, ki se kompenzira prek sistema obračuna v okviru priključitvene sheme.

Enostavna povračilna doba znaša 0,1 leta, kar pomeni, da bi se neto investicija pri danih predpostavkah povrnila v približno enem mesecu delovanja sistema. Povračilna doba je razmerje med neto investicijo in letnim denarnim prihrankom ter predstavlja poenostavljen kazalnik ekonomske učinkovitosti ukrepa; pri tem ne vključuje časovne vrednosti denarja, sprememb cen električne energije, degradacije modulov ali morebitnih stroškov vzdrževanja. V obravnavanem

primeru je izjemno kratka predvsem zaradi visoke subvencije v višini 214.596 € in posledične nizke neto investicije 3.098 €, ob hkratnem letnem prihranku 28.075 €.

8.8 ROI analiza — 30-letna projekcija

Leto	Nominalni tok (€)	Diskontirani tok (€)	Kumulativni NPV (€)
1	28.075	26.996	23.898
2	28.637	26.476	50.374
3	29.210	25.967	76.341
4	29.794	25.468	101.809
5	30.390	24.978	126.787
6	30.998	24.498	151.285
7	31.617	24.027	175.312
8	32.250	23.565	198.876
9	32.895	23.111	221.988
10	33.553	22.667	244.655
11	34.224	22.231	266.886
12	34.908	21.804	288.689
13	35.606	21.384	310.074
14	36.319	20.973	331.047
15	37.045	20.570	351.616
16	37.786	20.174	371.791
17	38.541	19.786	391.577
18	39.312	19.406	410.982

19	40.099	19.032	430.015
20	40.901	18.666	448.681
21	41.719	18.308	466.989
22	42.553	17.955	484.944
23	43.404	17.610	502.554
24	44.272	17.271	519.826
25	45.158	16.939	536.765
26	46.061	16.614	553.379
27	46.982	16.294	569.673
28	47.922	15.981	585.654
29	48.880	15.673	601.327
30	49.858	15.372	616.699

Tabela 18: ROI analiza — 30-letna projekcija

NPV (30 let)	616.699 €
Diskontirana povračilna doba	1 let
Diskontna stopnja (WACC)	4 %
Predpostavljena inflacija	2 %

Analiza donosnosti za 30-letno obdobje kaže izrazito pozitiven finančni učinek obstoječe sončne elektrarne na objektu Biotehniškega centra Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo. Pri priključitveni shemi PS.3B je bila pri inštalirani moči 227,7 kWp ocenjena letna proizvodnja 218.028 kWh/leto, kar ob direktni kompenzaciji 96,8 % in samooskrbi 25,6 % pomeni visoko stopnjo izkoriščenosti proizvedene energije na lokaciji. Ob letni porabi elektrike 739.610 kWh/leto in skupni priključni moči objekta 344 kW je sistem v letnem smislu dobro umeščen, pri čemer je letni CO₂ prihranek 106.834 kg/leto dodatno potrjuje pomemben okoljski učinek. Ob dejstvu, da je skupna

investicija 217.694 €, subvencija pa 214.596 €, znaša neto investicija le 3.098 €, kar pojasnjuje zelo kratko enostavno povračilno dobo 0,1 leta.

Za dolgoročno oceno je ključen kazalnik NPV, ki predstavlja sedanjo vrednost vseh prihodnjih denarnih tokov projekta, preračunanih na današnji čas. Pri tem se uporablja WACC 4 %, ki izraža zahtevano donosnost kapitala oziroma strošek financiranja in predstavlja diskontno stopnjo za izračun diskontiranih denarnih tokov. Inflacija 2 % vpliva na projekcijo prihodnjih stroškov in prihrankov, diskontiranje pa pomeni, da imajo prihodnji prihranki in koristi zaradi časovne vrednosti denarja manjšo sedanjo vrednost od enakih zneskov danes. Pri izračunu za 30 let je dosežen NPV 616.699 €, kar pomeni, da projekt v celotni življenjski dobi ustvarja zelo velik neto ekonomski presežek nad zahtevanim donosom kapitala. Diskontirana povračilna doba 1 leto potrjuje, da projekt zelo hitro povrne vrednost začetnega vložka tudi po upoštevanju časovne vrednosti denarja; ključna ugotovitev je, da je investicija zaradi skoraj v celoti pokritega začetnega stroška s subvencijo finančno izjemno ugodna ter dolgoročno močno pozitivna.

8.9 Okoljski vpliv

Letna sončna proizvodnja	218.028 kWh/leto
Emisijski faktor (SLO mreža, ARSO)	0.49 kgCO ₂ /kWh
Letni prihranek CO ₂	106.834 kg / 106,83 tCO₂
Prihranek v 30 letih	3205,0 tCO ₂
Ekvivalent: km z avtomobilom / leto	890.281 km
Ekvivalent: posajenih dreves / leto	≈ 4856 dreves

Tabela 19: Okoljski vpliv vgradnje SE

Vgradnja obstoječe sončne elektrarne z inštalirano močjo 227,7 kWp na objektu Biotehniškega centra Naklo na naslovu Strahinj 99, 4202 Naklo ima neposreden pozitiven vpliv na zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. Pri izračunu okoljskega učinka se upošteva emisijski faktor slovenske elektroenergetske mreže 0,49 kgCO₂/kWh, ki predstavlja povprečne emisije, nastale pri proizvodnji 1 kWh električne energije iz omrežja. Ker elektrarna letno proizvede 218.028 kWh elektrike, znaša ocenjeni letni prihranek 106.834 kg CO₂ oziroma 106,83 tCO₂. To pomeni, da sistem z neposredno kompenzacijo 96,8 % pomembno zmanjšuje potrebo po prevzemu električne energije iz omrežja in s tem znižuje ogljični odtis objekta.

V 30-letnem obdobju ob enakih obratovalnih pogojih je kumulativni prihranek ocenjen na 3.205,0 tCO₂, kar predstavlja zelo pomemben dolgoročni okoljski učinek. Takšen prihranek je mogoče ponazoriti tudi z razumljivimi ekvivalenti: letni prihranek 106,83 tCO₂ je približno primerljiv z izpustom nekaj deset avtomobilov na leto pri tipični osebni mobilnosti ali z učinkom več tisoč posajenih dreves v enem letu, odvisno od upoštevane referenčnega modela vezave ogljika. Na ravni celotne življenjske dobe sistema pa 3.205,0 tCO₂ pomeni trajno razbremenitev podnebja ter prispevek k zmanjšanju emisij na lokalni in nacionalni ravni.

9 Zaključek in priporočila

Predmet analize je načrtovana dograditev nove sončne elektrarne na objektu Biotehniški center Naklo (Strahinj 99, 4202 Naklo) z inštalirano močjo 227,7 kWp. Nova naprava bo priključena po shemi skupnostne samooskrbe (PS.3B), kar zahteva vzpostavitev novega merilnega mesta in vključitev določenih porabnikov v energetske skupnost. Sistem je zasnovan tako, da optimalno izrablja razpoložljive površine in priključno infrastrukturo, pri čemer načrtovana letna proizvodnja znaša 218.028 kWh. Kazalnik BHEE 215 kWh/100 kW potrjuje, da je moč sistema tehnično ustrezna glede na specifiko objekta in njegovo skupno priključno moč 344 kW.

V prvem scenariju, ki predvideva ohranitev trenutnega načina ogrevanja, znaša letna poraba elektrike na objektu 544.765 kWh. V tem primeru načrtovana dograditev zagotavlja 33,3 % stopnjo samooskrbe, pri čemer sistem dosega izjemno visoko, 96,3 % direktno kompenzacijo. To pomeni, da bo večina proizvedene energije porabljena neposredno na lokaciji, kar zmanjšuje potrebo po prevzemu iz omrežja in stabilizira stroške energije pri trenutnem profilu porabe.

Druga varianta predvideva prehod na ogrevanje s toplotnimi črpalkami, kar poveča skupno letno porabo elektrike na 739.610 kWh. V tem scenariju se stopnja samooskrbe z novo elektrarno prilagodi na 25,6 %, direktna kompenzacija pa naraste na 96,8 %. Ta varianta izkazuje višjo stopnjo energetske neodvisnosti pri ogrevanju, saj sončna elektrarna neposredno podpira delovanje toplotnih črpalk, kar dolgoročno prinaša največje prihranke pri stroških energentov.

Ekonomska upravičenost investicije je v obeh primerih dobra. Celotna investicija v dograditev je ocenjena na 217.694 €, vendar je ob predvideni subvenciji v višini do 214.596 € neto strošek za naročnika le približno 3.100 €. Posledično je enostavna povračilna doba ocenjena na 0,1 leta, kar pomeni praktično takojšnjo povrnitev neto vložka. Okoljski učinek je prav tako pomemben, saj letni prihranek emisij znaša 106.834 kg CO₂. Naročniku se priporoča izvedba projekta po shemi PS.3B, saj kombinacija nizke neto investicije in visokih energetske učinkov predstavlja minimalno tveganje in maksimalno korist.

9.1 Naslednji koraki

Za realizacijo dograditve nove sončne elektrarne moči 227,7 kWp se naročniku priporoča čimprejšnja vzpostavitev novega merilnega mesta ter prevezava določenih porabnikov nanj. Ker je subvencija ključna za doseganje izjemno kratke povračilne dobe, je prioriteta pravočasna oddaja vloge na ustrezen razpis z vso zahtevano tehnično dokumentacijo. Pred tem je potrebno pridobiti soglasje za priključitev pri distribucijskem operaterju SODO za novo merilno mesto, po vgradnji pa

izvesti formalno registracijo energetske skupnosti, da se zagotovi pravilna razporeditev proizvedene energije med porabnike.

9.2 Priporočila za optimizacijo porabe

Za doseganje najvišjih učinkov dograditve je ključno usmerjanje porabe v ure visoke proizvodnje sončne elektrarne. Pri shemi skupnostne samooskrbe se priporoča, da se prilagodljivi porabniki v največji meri aktivirajo dopoldne in okoli solarnega maksimuma, kar povečuje delež lastne rabe in izboljšuje ekonomski izplen. V primeru elektrifikacije ogrevanja je smiselno vzpostaviti nadrejeno upravljanje toplotnih črpalk, ki bi prednostno zagotavljalo pripravo sanitarne vode in predgretje akumulacije v obdobjih ugodnega obsevanja, s čimer se stavba uporabi kot toplotni hranilnik energije.

Dodatno se za optimizacijo priporoča uporaba pametne avtomatizacije, ki na podlagi napovedi obsevanja samodejno prilagaja delovanje naprav in vključuje omejevanje konic. Takšen pristop zagotavlja, da ob hkratnem delovanju večjih porabnikov ne pride do preseganja optimalnega priključnega profila, hkrati pa maksimizira izkoristek nove sončne elektrarne. S sistematičnim upravljanjem porabe bo Biotehniški center Naklo dosegel boljšo usklajenost med lokalno proizvodnjo in odjemom, kar dolgoročno zagotavlja stabilno in stroškovno učinkovito energetska oskrbo.

10 Viri in zakonodaja

Za analizo sončnih elektrarn v Sloveniji se kot osnovni pravni in strokovni viri priporočajo Energetski zakon (EZ-1), Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije ter tehnična dokumentacija SONDSEE, ki jo objavlja sistemski operater distribucijskega omrežja SODO. Navedeni viri so ključni za presojo priključitvenih pogojev, obratovanja proizvodnih naprav, režimov samooskrbe ter za razumevanje tehničnih in administrativnih zahtev pri priključevanju objektov na distribucijsko omrežje.

Pri okoljskih in finančnih izračunih se priporočata tudi uradna metodologija oziroma emisijski faktorji električne energije, ki jih objavlja ARSO, ter aktualni razpisi in javni pozivi SPIRIT Slovenija in Ministrstva za energijo oziroma programi URE, kadar je predmet analize ekonomska upravičenost investicije, možnosti sofinanciranja in primerjava stroškov ter prihrankov. Za celovito analizo je smiselno uporabljati zadnje veljavne verzije vseh navedenih virov ter preveriti tudi morebitne dopolnitve, spremembe in navodila pristojnih organov.

- [1] Pravilnik o metodologiji za izdelavo in vsebini energetskega pregleda. Uradni list RS, št. 41/16.
- [2] Evropska komisija, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti RS: Priročnik za izvajalce energetskih pregledov. Evropska komisija, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti RS, 1997.
- [3] ISO 50002:2014. Energy audits.
- [4] SIST EN 16247.
- [5] Energetski zakon (EZ-1).
- [6] Pravilnik o metodologiji za izdelavo in vsebini energetskega pregleda: podrobnejši predpis, ki določa vsebino in zahteve za izvajanje energetskih pregledov v Sloveniji.
- [7] Projektna in tehnična dokumentacija objekta.
- [8] Računi za energente (električna energija, voda).