Planiranje energetskog sustava otoka Lošinja primjenom RenewIslands metodologije

Hemetek, Boris

Master's thesis / Diplomski rad

2007

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:470717

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
ZAGREB

DIPLOMSKI RAD

Boris Hemetek

Zagreb, 2007.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
ZAGREB

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Prof. dr. sc. Neven Duić

Boris Hemetek

Zagreb, 2007.

SAŽETAK

Ovim diplomskim radom provedeno je energetsko planiranje otoka Lošinja primjenom RenewIslands metodologije i koristeći matematički model H_2RES. Kad je u pitanju energetsko planiranje, matematički modeli poput H_2RES-a postaju sve važniji. H_2RES program je razvijen kao potpora za simulaciju različitih scenarija predloženih RENEWISLAND metodologijom, a s ciljem integracije obnovljivih izvora energije i vodika u energetske sustave otoka. Model može koristiti obnovljive izvore energije kao što su energija vjetra, solarna insolacija, biomasa, hidropotencijal, ali i fosilna goriva te elektrodistribucijsku vezu s kopnom kao rezervnu varijantu. Opterećenje u modelu može se predstaviti kao satno (promjenljivo) opterećenje elektroenergetskog sustava, sa satnim toplinskim opterećenjem, vodikovim opterećenjem za transport i potrošnjom vode ovisno o njenom konzumu. H_2RES model ima sposobnost integriranja različitih spremnika energije u otočni elektroenergetski sustav kako bi se omogućila bolja penetracija električne energije iz obnovljivih izvora u energetski sustav otoka te da bi se napravili energetski sustavi koji su 100% obnovljivi, odnosno koriste samo obnovljive izvore energije. Energetski spremnici mogu varirati od sustava s vodikom (goriva ćelija, elektrolizer i vodikov spremnik) do reverzibilne hidroelektrane ili baterija za manje energetske sisteme. H_2RES model je testiran na različitim energetskim sustavima brojnih otoka i osim energetskog planiranja na otocima, model se može uspješno primijeniti za simulaciju i drugih energetskih sistema kao što su naselja u planinskim krajevima ili simulacija različitih pojedinačnih energetskih subjekata. U ovom radu prezentirana su 4 scenarija razvoja energetskog sistema na otoku Lošinju. Prvi scenarij predstavlja *„business as usual“* situaciju, odnosno nema nikakvih zahvata na elektroenergetskom sustavu. Napajanje se vrši preko mreže koja je povezana s kopnom. U drugom scenariju predviđeno je zadovoljavanje potreba za potrošnom toplom vodom pomoću solarnih kolektora. U svrhu modeliranja energetskog sustava otoka Lošinja H_2RES model nadograđen je s modulom za potrošnu toplu vodu koji se sastoji od solarnih kolektora i toplinskog spremnika. Efikasnost spremnika definirana je kao efikasnost s kojom ulazi topla voda u spremnik (iznosi 90%) i gubici zbog prijenosa topline između spremnika i okoline. U trećem scenariju postavljeno je 30% satno ograničenje na penetraciju električne energije koja može doći iz intermitentnih izvora. Da bi otok postao 100% obnovljivim osim vjetroturbina i PV sistema korištene su i gorive ćelije, elektrolizer i vodikov spremnik za spremanje viška generirane električne energije. Kao bazna godina uzeta je 2005., a period za koje se vršilo modeliranje je 2010. – 2025. godina.

SUMMARY

With this diploma work electric power system of the Island of Lošinj was modeled using RenewIslands methodology and H_2RES program. When it comes to the energy planning, computer programs like H_2RES are becoming valuable tools. H_2RES has been designed as support for simulation of different scenarios devised by RENEWISLAND methodology with specific purpose to increase integration of renewable sources and hydrogen into island energy systems. The model can use wind, solar, hydro, biomass, geothermal as renewable energy sources and fossil fuel blocks and grid connection with mainland as back up. The load in the model can be represented by hourly and deferrable electricity loads of the power system, by hourly heat load, by hydrogen load for transport and by water load depending on water consumption. The H_2RES model has ability to integrate different storages into island energy system in order to increase the penetration of intermittent renewable energy sources or to achieve a 100 per cent renewable island. Energy storages could vary from hydrogen loop (fuel cell, elektrolizer and hydrogen storage) to reversible hydro or batteries for smaller energy systems. The H_2RES model was tested on the power system of many islands and besides energy planning of the islands, the model could be successfully applied for simulation of other energy systems like villages in mountain regions or for simulation of different individual energy producers or consumers. Selected scenarios of development of the energy system of the Island of Lošinj, Croatia are presented in the paper. There are 4 scenarios, first one is business as usual were there is no new infrastructure in Island of Lošinj power system. With the second scenario flat plate solar collectors were used to satisfy demand for hot water. For purpose of modeling Island of Lošinj H_2RES was upgraded with hot water module that consists of solar thermal collectors and heat storage. Storage efficiency was modeled with assumption that water comes into storage with efficiency of 0.9 plus losses between storage and surroundings. In the third scenario there is 30% limitation on power load that can come from intermittent resources. In order to make Island of Lošinj 100% renewable besides wind turbines and photovoltaic systems we have fuel cells, elektrolizer and hydrogen storage. Year 2005 was taken as a base year and period between 2010 – 2025 was modeled.

SADRŽAJ

SADRŽAJ 1
POPIS SLIKA 2
POPIS TABLICA 4
POPIS OZNAKA 5
IZJAVA 7
1. UVOD 8
2. RENEWISLANDS METODOLOGIJA 15
2.1 Općenito o H_2RES-u 17
2.2 Modul za vjetar 19
2.3 Solarni modul 21
2.4 Hidro modul 22
2.5 Modul za vodik 23
2.6 Modul za fosilna goriva 23
2.7 Geotermalni modul 23
2.8 Modul za biomasu 23
2.9 Modul za potrošnu toplu vodu (PTV) 25
2.10 Modul za električno opterećenje 27
2.11 Modul za toplinsko opterećenje 29
2.12 Modul za spremanje 30
3. PRIMJENA RENEWISLANDS METODOLOGIJE NA OTOKU LOŠINJU 33
3.1 Geografski položaj i karakteristike 33
3.2 Gospodarstvo i potrebe za energijom 35
4. PRIMJENA H_2RES MODELA NA OTOK LOŠINJ 52
4.1 Podaci za vjetar 52
4.2 Podaci o sunčevom zračenju 52
4.3 Podaci o ograničenjima na udio električne energije iz obnovljivih izvora 53
4.4 Podaci o opterećenju 53
4.5 Podaci o spremanju 53
4.6 Podaci o mreži 54
5. REZULTATI 56
5.1 Scenariji za otok Lošinj 56
5.2 Opis scenarija 56
5.2.1 *Business as usual* scenarij 56
5.2.2 PTV (potrošna topla voda) scenarij 56
5.2.3 VjetarSunce 30% scenarij 57
5.2.4 H_2VjetarSunceTransport 100% scenarij 57
5.3 Rezultati modeliranja scenarija 59
5.3.1 *Business as usual* scenarij 59
5.3.2 PTV (potrošna topla voda) scenarij 60
5.3.3 VjetarSunce30% scenarij 64
5.3.4 VjetarSunce100% + PTV scenarij 67
5.3.5 H_2VjetarSunce100% + PTV scenarij 70
5.3.6 H_2VjetarSunceTransport100% + PTV scenarij 74
5.4 Usporedba scenarija 77
6. ZAKLJUČAK 82
7. LITERATURA 85
DODATAK 88

POPIS SLIKA

Slika 1. Panoramski pogled na 11 MW solarnu elektranu u okolici Serpe, Portugal 11
Slika 2. Autobus baziran na vodikovoj tehnologiji 13
Slika 3. Shema RenewIslands metodologije 15
Slika 4. Shema H_2RES modela 18
Slika 5. Karakteristike turbina korištenih na otoku Lošinju 20
Slika 6. Montaža REpower 5MW 21
Slika7. Vestas V90 21
Slika 8. REpower 5MW 21
Slika 9. Vestas V90 21
Slika 10. Solarni pločasti kolektor 27
Slika 11. Potrošnja PTV-a izražena kao postotak u satnoj potrošnji vode 30
Slika 12. Lošinjski arhipelag 33
Slika 13. Akvatorij otoka Lošinja 34
Slika 14. Kretanje broja stanovnika na otoku Lošinju [4] 35
Slika 15. Broj noćenja po mjesecima u razdoblju 2003. – 2005. godina 36
Slika 16. Kretanje broja noćenja(u milijunima noćenja) u periodu 1998 - 2005 37
Slika 17. Broj noćenja i dolazaka (u tisućama) po mjesecima za 2005. godinu 37
Slika 18. Potrošnja električne energije [MWh] tijekom godine za Jadranka hotele 38
Slika 19. Satna potrošnja električne energije za 2005 godinu 39
Slika 20. Rast potrošnje električne energije u razdoblju 2002.- 2006. godina 39
Slika 21. Kretanje opterećenja i potrošnje u periodu 2002. – 20025. godina 40
Slika 22. Potrošnja finalne energije prema namjeni na otoku Lošinju. 41
Slika 23. Potrošnja finalne energije prema vrsti energenta [%] na otoku Lošinju 40
Slika 24. Pretpostavljeni godišnji rast (od 5 %) potrošnje energije potrebne za grijanje PTV-a 42
Slika 25. Kretanje komunalnog otpada u razdoblju 2000 - 2005 42
Slika 26. Mjesečna potrošnja vode u m^3 na otoku Lošinju za 2005. godinu 43
Slika 27. Satne vrijednosti temperature zraka za 2003., 2004., i 2005. godinu 45
Slika 28. Prosječno satno sunčevo zračenje na horizontalnu površinu 45
Slika 29. Globalno Sunčevo zračenje na horizontalnu površinu za područje Hrvatske [25] ... 46
Slika 30. Prosječna satna brzina vjetra na 10m visine 46
Slika 31. Prosječna brzina vjetra za područje Hrvatske [25] 47
Slika 32. Topografska karta s potencijalno pogodnim lokacijama za vjetroturbine 47
Slika 33. Bilanca sječa 48
Slika 34. PV potencijal (izvor Meteonorm [28]). 49
Slika 35. Model po kojem radi PTV scenarij 57
Slika 36. „100% obnovljiv otok“ 58
Slika 37. Autobus koji se zasniva na vodikovoj tehnologiji [13] 59
Slika 38. Zadovoljavanje potrošnje u *business as usual* scenariju 59
Slika 39. Zadovoljavanje potrošnje u business as usual scenariju za 2020. godinu 60
Slika 40. Zadovoljavanje potrošnje u business as usual scenariju za 2025 godinu 58
Slika 41. Zadovoljavanje potrošnje u 2010. 61
Slika 42. Zadovoljavanje potrošnje u 2025 59
Slika 43. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za PTV scenarij 62
Slika 44. Snaga instaliranih komponenti po godinama za PTV scenarij 62
Slika 45. Kapacitet spremnika za potrošnu toplu vodu 63
Slika 46. Energija koja se troši na zagrijavanje potrošne tople vode (1998. godina) 63
Slika 47. Utjecaj korištenja solarnih termalnih kolektora na smanjenje potrošnje po godinama ... 64

Slika 48. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij VjetarSunce30% 65
Slika 49. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za scenarij VjetarSunce30% 65
Slika 50. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju VjetarSunce30% .. 66
Slika 51. Zadovoljavanje potrošnje u 2010. 66
Slika 52. Zadovoljavanje potrošnje u 2025..... 64
Slika 53. Korištenje intermitentnih potencijala u 2010. godini..... 67
Slika 54. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij VjetarSunce100% + PTV ... 68
Slika 55. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za scenarij VjetarSunce100% + PTV 69
Slika 56. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju VjetarSunceTransport100% + PTV..... 67
Slika 57. Korištenje intermitentnih potencijala 70
Slika 58. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij H_2VjetarSunce100%+PTV .. 71
Slika 59. Kapacitet spremnika za vodik H_2VjetarSunce100% + PTV 71
Slika 60. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za scenarij H_2VjetarSunce100% + PTV.....72
Slika 61. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju H2VjetarSunce100% + PTV.....70
Slika 62. Korištenje intermitentnih potencijala u 2010. godini za H2VjetarSunce100% scenarij..773
Slika 63. Korištenje intermitentnih potencijala u 2015. godini za H2VjetarSunce100% scenarij..71
Slika 64. Korištenje intermitentnih potencijala u 2020. godini za H2VjetarSunce100% scenarij 73
Slika 65. Korištenje intermitentnih potencijala u 2025. godini za H2VjetarSunce100% scenarij....71
Slika 66. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV.....72
Slika 67. Kapacitet spremnika za vodik H_2VjetarSunceTransport100% + PTV..... 75
Slika 68. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za s cenarij H_2VjetarSunceTransport 100%+ PTV.....73
Slika 69. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju H_2VjetarSunce Transport 100% + PTV.....74
Slika 70. Korištenje intermitentnih potencijala u 2010. godini za H2VjetarSunceTransport 100% scenarij 76
Slika 71. Korištenje intermitentnih potencijala u 2015. godini za H2VjetarSunceTransport 100% scenarij.....74
Slika 72. Korištenje intermitentnih potencijala u 2020. godini za H2VjetarSunceTransport 100% scenarij 76
Slika 73. Korištenje intermitentnih potencijala u 2025. godini za H2VjetarSunceTransport 100% scenarij.....74
Slika 74. Snaga instaliranih komponenti za scenarije 30% i 100% u 2010. godini 77
Slika 75. Snaga instaliranih komponenti za scenarije 30% i 100% u 2015. godini 78
Slika 76. Snaga instaliranih komponenti za scenarije 30% i 100% u 2020. godini 79
Slika 77. Snaga instaliranih komponenti za scenarij VjetarSunce30% i H_2VjetarSunce Transport 100% u 2025. godini.....77
Slika 78. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2010. godini 80
Slika 79. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2015. godini 80
Slika 80. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2020. godini 81
Slika 81. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2025. godini 81
Slika 82. Površina koju bi zauzele vjetroturbine, PV paneli, solarni termalni kolektori i H_2 spremnik u scenariju H2VjetarSunceTransport100%+PTV i VjetarSunce100% + PTV...83

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba vodika i diesel-a [13] 13
Tablica 2. Karakteristike korištenih vjetroturbina na Lošinju [20-21]..... 20
Tablica 3. Površina po mjestima na otoku Lošinju [23] 35
Tablica 4. Turistički kapaciteti na otoku Lošinju..... 36
Tablica 5. Kretanje broja stanova i domaćinstava u razdoblju 1981. - 2001 38
Tablica 6. Broj i vrsta vozila na otoku Lošinju 41
Tablica 7. Mapiranje potreba otoka Lošinja..... 43
Tablica 8. Mapiranje resursa 44
Tablica 9. Prosječna Temperatura zraka na Lošinju u periodu 2003. – 2005. godina 44
Tablica 10. Prosječno trajanje sijanja Sunca na Lošinju u periodu 2003. – 2005. godina..... 45
Tablica 11. Broj dana s jakim i olujnim vjetrom [23]..... 47
Tablica 12. Potencijalni nosioci energije(energetski vektori)..... 48
Tablica 13. Potencijalne tehnologije 50
Tablica 14. Potencijalne tehnologije za skladištenje..... 50
Tablica 15. Integracija tokova..... 51
Tablica 16. Maksimalna jakost struje koju mogu podnijeti podmorski kabeli [30]..... 55
Tablica 17. Maksimalna opterećenja kablova..... 55
Tablica 18. Potrošnja energije potrebne za zagrijavanje PTV-a i uštede [kWh] 64

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A_S	m^2	vanjska površina spremnika tople vode
$E_{bat,in}$	kWh	energija utrošena za punjenje baterija
$E_{bat,out}$	kWh	energija iz baterija
E_{bio}	kWh	proizvedena energija iz biomase
E_D	kWh	energija iz termoenergetskih postrojenja na fosilna goriva
E_{el}	kWh	energija utrošena na elektrolizu vode
E_{FC}	kWh	energija iz gorive ćelije
E_G	kWh	energija uvezena iz elektroenergetskog sustava preko veze s kopnom
E_{geo}	kWh	proizvedena energija iz geotermalnih izvora
$E_{G,s}$	kWh	izvezena energija u EES na kopnu
E_{H_2}	kWh	energija akumulirana u spremniku
E_{H_2load}	kWh	potrošnja vodika za transportne potrebe
$E_{I,pot}$	kWh	proizvedena energija iz intermitentnih izvora
$E_{I,t}$	kWh	intermitentna električna energija iz obnovljivih izvora uzeta u sustav otoka
E_{load}	kWh	potrošnja energije u elektroenergetskom sustavu otoka
E_P	kWh	energija utrošena za pumpanje vode
$E_{PV,m}$	kWh	energija sunčevog zračenja na horizontalnu površinu
$E_{PV,pot}$	kWh	energija koja se može proizvesti na PV panelu
E_r	kWh	odbačeni višak energije proizveden iz intermitentnih izvora
E_T	kWh	energija iz hidroturbina
$E_{W,pot}$	kWh	energija koja se može potencijalno proizvesti iz intermitentnih izvora
HHV_d	MJ/kg_G	gornja ogrjevna vrijednost suhe tvari
HHV_{wet}	MJ/kg_G	gornja ogrjevna vrijednost vlažne tvari
$I_{k,\max}$	A	maksimalna jakost električne energije koju mogu podnijeti kablovi
LHV_d	MJ/kg_G	donja ogrjevna vrijednost suhe tvari
LHV_{wet}	MJ/kg_G	gornja ogrjevna vrijednost vlažne tvari
$P_{k,\max}$	kW	maksimalna električna snaga koju mogu podnijeti kabeli

Oznaka	Jedinica	Opis
Q_{los}	kWh	gubitak topline između spremnika PTV-a i okoline
$Q_{C,pot}$	kWh	toplinski potencijal solarnih termalnih kolektora
$Q_{s,m}$	kWh	mjereno ukupno sunčevo zračenje na horizontalnu površinu
T_{out}	K	temperatura PTV prema potrošačima
T_o	K	temperatura okoline
T_S	K	temperatura u spremniku
T_{in}	K	temperatura vodovodne vode
U	kV	napon podmorskih kabela
c_W	kJ/(kgK)	specifični toplinski kapacitet vode
k_C	-	koeficijent prolaza topline između apsorbera i okoline
k_S	-	koeficijent prolaza topline između spremnika i okoline
$t_{H_2 \sec}$	-	sigurnost dobave
v_z	m/s	brzina vjetra na visini kućišta vjetroturbine
v_{10}	m/s	brzina vjetra na visini od 10 m
z	m	visina kućišta vjetroturbine
α	-	koeficijent ovisan o hrapavosti površine
$\cos\varphi$	-	faktor električne snage
μ_{el}	-	učinkovitost elektrolizera
μ_{FC}	-	učinkovitost gorive ćelije
μ_C	-	ukupna učinkovitost solarnog termalnog kolektora
μ_{PV}	-	ukupna učinkovitost PV panela
$\mu_{PV,con}$	-	učinkovitost DC/AC konvertera
$\mu_{PV,los}$	-	koeficijent gubitaka
$\mu_{PV,\mathrm{mod}}$	-	učinkovitost PV modula
ρ_W	kg/m^3	gustoća vode
φ_I	-	ograničenje na udio intermitentne energije
χ_m	-	pretvorbeni faktor
χ_C	-	faktor pretvorbe sunčevog zračenja

IZJAVA

Izjavljujem da sam rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na fakultetu strojarstva i brodogradnje i služeći se navedenom literaturom.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Nevenu Duiću. Posebno se zahvaljujem Goranu Krajačiću na nesebičnoj i vrlo korisnoj pomoći pri izradi ovog diplomskog rada. Zahvaljujem se i gospodinu Igoru Raguzinu iz Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva bez čije bi pomoći bilo nemoguće dobiti podatke o potrošnji energije na otoku Lošinju. Također posebno se zahvaljujem gradonačelniku Malog Lošinja Gariu Cappelliu na potpori koju je pružio, a i čelnicima lokalnih poduzeća na informacijama i podacima koje su mi dali na uvid i korištenje.

Boris Hemetek

1. UVOD

Većina otoka na svijetu ovisna je o uvozu goriva i energije, pa tako ni Hrvatski otoci nisu iznimka, iako postoje ogromni raspoloživi prirodni potencijali (energija sunca, vjetra) koji ostaju neiskorišteni. Uvozna energije bazira se na konvencionalnim izvorima. Takva energija je skupa i ovisi o cijenama energenata na svjetskim tržištima, uzrokuje onečišćenje okoliša i ostavlja otoke bez energetske sigurnosti [1]. No svakim danom potrebno je sve više energije, razvojem turizma dolazi do sve veće potrošnje uvjetovane gospodarskim razvojem i porastom standarda što posebno dolazi do izražaja tijekom turističke sezone. Daljnjim porastom turističke djelatnosti pritisci će biti sve veći i značajniji, a time i posljedice na okoliš. Daljnji razvoj nije moguć bez dodatne energije, ali to mora uključiti razvoj u skladu s okolišem.

Da bi zadovoljili ove rastuće potrebe moguće su dvije alternative. Prvi je postavljanje novih podmorskih kabela, odnosno osigurati potrebnu energiju s kopna. Drugi, gradnja energetskih objekata na otocima. Moguća su klasična postrojenja ili postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije. Pod klasična misli se na termoenergetska postrojenja, no takva opcija ne dolazi u obzir budući da je otočna ekonomija ovisna o turizmu s kojom industrija i energetska postrojenja na konvencionalna goriva nisu spojiva.

Kao realna alternativa ostaju lokalni izvori energije koji će biti značajni za budući razvoj otoka, stvaraju mogućnost za otvaranje novih radnih mjesta i mogu pomoći u sprječavanju iseljavanja stanovništva s naših otoka. Osim što je riječ o ekološkom trendu, korištenje alternativnih izvora energije temelji se na visoko sofisticiranoj tehnologiji i zahtijeva velika ulaganja. Turistička potražnja sve više vrednuje odnos nositelja turističke ponude prema okolišu, posebno osjetljivim područjima vrijedne prirodne i kulturne baštine. Istovremeno educirajući buduće turiste ekološki pokreti u emitivnim zemljama potiču zaštitu okoliša u novim destinacijama pa i kažnjavaju one subjekte ponude koji se ne ponašaju prijateljski prema okolišu. Vrlo je vjerojatno da će ovaj trend dalje jačati i u institucionaliziranim formama kao što je danas program "Plava zastava" zaklade za obrazovanje o okolišu [2]. U Velikoj Britaniji je njihov prvi vjetropark u prvih 10 godina posjetilo više od 350000 ljudi. Prilikom izgradnje vjetroparkova često se zahtjeva od izvođača da u sklopu vjetroparka naprave i centar za posjetitelje, primjerice u Swaffham, Norfolku preko 50000 turista se popelo na vrh vjetroturbine da bi uživali u pogledu sa 65 metarske platforme [3].

Posljednjih nekoliko godina intenzivno se radi na promociji obnovljivih izvora energije i očuvanju okoliša. Različita su predviđanja i mogući scenariji što će se desiti ako čovječanstvo ništa ne poduzme i nastavi s ovakvim tempom onečišćavati okoliš. U studenom 2006. godine izvještaj Nicholasa Sterna upozorio je bogate zemlje da moraju poduzeti akcije u borbi protiv globalnog zatopljenja ili riskirati smanjenje BDP-a za 20% do 2200. U veljači 2007. International Panel on Climate Change (IPCC) izdao je izvještaj u kojem predviđa da će globalno zatopljenje uzrokovati porast temperature u rasponu između 1.1 do 6.4 °C do 2100. U ožujku 2007. Europska Unija (EU) prihvatila je plan prema kojemu do 2020. članice EU moraju smanjiti emisije za 20% ispod onih iz 1990. godine. Također povećati udio obnovljive energije u ukupnoj potrošnji energije na 20%, a u transportu da 10% potrošnje goriva čine biogoriva [4]. U EU zadnjih nekoliko godina stopa rasta u sektoru vjetroenergije iznosi tridesetak posto. Instalirano je ukupno 48027 MW, iz kojih se proizvodi 83 TWh električne energije, što zadovoljava 2.8 posto ukupne potrošnje energije. U obnovljive izvore energije u EU najviše ulažu Njemačka, Španjolska i Danska. Posebno je zanimljiv primjer Španjolske, koja je sa 11615 MW na drugom mjestu po instaliranoj snazi u EU, pri čemu je i otvoreno izravno više od 17000 radnih mjesta [5].

U Hrvatski elektroenergetski sustav oko 40% energije dolazi iz velikih hidroelektrana. U 2006. godini 35% ukupne potrošnje električne energije došao je upravo iz hidroelektrana. No ako ne računamo njih, onda se trenutno samo 1% energije proizvede iz obnovljivih izvora. 22.03.2007 Hrvatska vlada donijela je i Hrvatsku strategiju o obnovljivim izvorima energije, doneseni su ciljevi koliko energije treba doći iz obnovljivih izvora te povlaštene tarife za električnu energiju iz obnovljivih izvora. Cilj je da se udjel do 2010. godine poveća na 5.8% što iznosi 1139 GWh. To bi značilo da će zajedno sa hidroelektranama 40.2% električne energije dolaziti iz obnovljivih izvora. Uvodi se i plaćanje naknade jedinicama lokalne samouprave na čijem području su proizvodni objekti. U slučaju vjetroturbine veće od 1 MW ta naknada bi iznosila 0.01 kn/kWh. Tarifnim sustavom definirana je i cijena otkupa struje iz obnovljivih izvora, a ona iznosi od 0.36 kuna po kWh za elektrane na deponijski plin, 0.64 kune za vjetroturbine, pa do 3.4 kune po kWh za struju iz PV panela.

Trenutno u Hrvatskoj postoje dva vjetroparka (na Pagu i kod Šibenika) instalirane snage ukupno 18 MW. Trenutno je u Hrvatskoj na snazi Uredba o uređenju i zaštiti zaštićenog obalnog područja, kojom je zabranjena gradnja i planiranje gradnje vjetroturbina na otocima, te unutar pojasa od tisuću metara od obale [6]. Obalni i otočni pojas imaju veći

vjetropotencijal od onoga u kopnenome dijelu te su i prikladniji za korištenje energije vjetra. Isto tako iako Hrvatska ima neusporedivo bolje solarne preduvjete, nalazi se na samom dnu Europe po instaliranim solarnim sustavima. Iako je Hrvatska 1989. godine među prvim zemljama Europe došla u posjed fotonaponske tehnologije, uz mogućnost godišnje proizvodnje do 1 MW solarnih fotonaponskih modula, ali je nažalost sve do danas ostala na tom skromnom proizvodnom potencijalu [7]. Korištenje Sunčeve energije za pripremu potrošne tople vode najjednostavnije je i ima najširu pripremu. Topla voda potrebna je tijekom čitave godine pa se solarni sustav stalno koristi i tako brže amortizira. Upravo je cilj Nacionalnog energetskog programa CROTOK omogućiti razvoj energetike na otocima i priobalju. Program promovira energiju Sunca SUNEN, vjetra ENWIND, biomasu BIOEN, geotermalnu energiju GEOEN te male hidroelektrane MAHE. Cilj programa ENWIND je sustavno utvrditi prirodan i tehnički iskoristiv energetski potencijal vjetra na svim prostorima Hrvatske [8]. Cilj program korištenja Sunčeve energije SUNEN je da se do 2010. godine na otocima, najveći dio potrošnje energije za pripremu potrošne tople vode (PTV) u kućanstvima i turizmu osigura iz primarne sunčeve energije. Najkasnije do 2020. godine značajan udio toplinskih potreba za grijanje i hlađenje otoka, mogao bi se pokriti iz hibridnih toplana Sunce-UNP, gdje bi ekonomični udio sunčeve energije iznosio do 50% u odnosu na ukupnu finalnu toplinsku potrošnju. Pasivno korištenje sunčeve energije na otocima, posebno u turističkom i ugostiteljskom sektoru može donijeti značajne rezultate. Do 2030. godine svi hotelsko ugostiteljski objekti trebali bi biti izgrađeni s primijenjenim modernim tehnologijama korištenja aktivnih i pasivnih solarnih sustava za grijanje, hlađenje i osvjetljenje.

PV paneli bilježe svoj ubrzani razvoj, njihova iskoristivost danas je otprilike oko 15%, a također i njihova cijena je značajno pala. Od 200$ po W instalirane snage 1950 do 2.70 $ po W 2004. No cijena još uvijek ne može konkurirati na tržištu onoj iz konvencionalnih izvora, no uz subvencije ulaganje u PV sisteme može postati isplativo. Njemačka je uvođenjem feed-in tarifa za energiju dobivenu iz PV panela učinila svoje tržište PV panela najvećim na svijetu. Zahvaljujući tome tržište je raslo za 40% godišnje zadnjih pet godina i doseglo vrijednost od 5 milijardi $. Buduće korištenje PV panela u velikoj će mjeri ovisiti o njihovom daljnjem razvoju i nastojanjima da se smanji cijena s jedne strane, ali isto tako važna je percepcija javnosti prema negativnim učincima asociranim s drugim tehnologijama koje se koriste za proizvodnju električne energije [9]. PV paneli su pouzdani u radu zbog činjenice da nemaju pokretnih dijelova i jednostavni su za održavanje. Mogu se koristiti i u izoliranim sistemima

(stand-alone), odnosno mjestima gdje nema distribucijske mreže ili je trošak priključka prevelik.

PV paneli najčešće se koriste za napajanje električnom energijom:

- izoliranih/izdvojenih objekata (vikendice, udaljena sela ...)
- telekomunikacijskih sustava (odašiljači, repetitori i bazne stanice radio/TV, fiksne i mobilne telefonije)
- ulične rasvjete (neelektrificirana prigradska raskrižja, parkirališta)
- pokretne prometne signalizacije (cestovne, željezničke i zračne)
- vodocrpilišta (za navodnjavanje, izvora i bunara)
- mobilnih jedinica, kamping kućica, kampera i plovila
- svjetionika, signalnih plutača i platformi na moru
- sustava za automatsko prikupljanje i praćenje podataka (mjerno-kontrolne stanice za meteorološke, klimatske, seizmološke, hidrološke, ekološke i sl. namjene)
- sustava za desalinizaciju morske vode
- malih poljskih bolnica
- sustava katodne zaštite (cjevovoda, velikih metalnih konstrukcija)



Slika 1. Panoramski pogled na 11 MW solarnu elektranu u okolici Serpe, Portugal

Ako postoji trenutni višak električne energije iz obnovljivih izvora u odnosu na potrošnju, tu energiju moguće je spremiti pomoću baterija ili elektrolizom proizvoditi vodik (H_2). Nedostatak baterija je što dolazi do samopražnjenja i zbog toga se uglavnom koriste kao sredstva za kratkoročno spremanje. Dugoročno spremanje energije može se samo postići s vremenski neovisnim medijima kao što su: komprimirani zrak, reverzibilna hidroturbina, različite kemijske smjese. Vodik može biti spremljen kao plin, tekućina ili kao metalni hidrid. Tako spremljen vodik može se koristiti u proizvodnji električne energije koristeći gorive ćelije ili u motoru s unutrašnjim izgaranjem povezanim s generatorom [10].

Gorive ćelije značajno su skuplja tehnologija u odnosu na već postojeće konvencionalne tehnologije. Izravna konverzija kemijske u električnu energiju bez buke i štetnih emisija san je inženjera još od pronalaska koncepta gorivih ćelija u devetnaestom stoljeću [11]. Gorive ćelije danas imaju mnoge tehnološke prednosti uključujući: visoku efikasnost, nema štetnih emisija, pouzdan i tihi rad, lagano podešavanje snage i mogućnost proizvodnje i električne i toplinske energije. Uz primjenu u proizvodnji električne energije gorive ćelije mogu se koristiti i u transportu. Postoje različiti načini za proizvodnju vodika. Ako se on dobiva korištenjem električne energije onda je cilj da se električna energija dobiva iz obnovljivih izvora. Upravo se na taj način ostvaruje maksimalna korist za okoliš, odnosno smanjenje onečišćenja i stakleničkih plinova. Vodik dobiven korištenjem obnovljivih izvora zove se „zeleni“ vodik. Korištenje „zelenog“ vodika umjesto standardnih goriva (benzina i diesel-a) može dovesti do ekonomičnog smanjenja emisija stakleničkih plinova samo ako je efikasnost gorive ćelije više od dva puta veća u odnosu na motre s unutrašnjim izgaranjem [12]. Europska Unija identificirala je vodik i gorive ćelije kao jednu od tehnologija kojom će smanjiti ovisnost o uvozu nafte, smanjiti emisiju stakleničkih plinova, a također postići i bolju kvalitetu zraka u velikim gradovima. Te je 2001. uveden demonstracijski program pod nazivom CUTE (Clean Urban Transport for Europe) [13]. Slika 2. prikazuje jedan od demonstracijskih autobusa iz programa „Čisti Javni Prijevoz za Europu“. Cilj ovog projekta je razviti potpuno čisti gradski javni prijevoz (nula emisija stakleničkih plinova), odnosno zamijeniti postojeći prijevoz na benzin i diesel s vodikom i gorivim ćelijama. Da bi se ova tehnologija mogla komercijalno koristiti i dobiti masovnu primjenu potrebno je učiniti ovu tehnologiju kompetitivnom s motorima s unutrašnjim izgaranjem. Trenutna cijena proizvodnje gorivih ćelija je 3000–8000 €/kW. Očekuje se da će cijena pasti na 200€/kW u slijedećih 10 godina [14]. Osim zemalja članice Europske Unije ovaj projekt podržala je Kina

i Australija, te je kroz period od dvije godine prijeđeno više od milijun kilometara i prevezeno više od 4 milijuna putnika.



Slika 2. Autobus baziran na vodikovoj tehnologiji

Korištenjem automobila u gradskoj vožnji njegova efikasnost pada ispod 15% (oko 80% ukupnog broja automobila se upravo koristi u gradovima) što znači da u spremniku od 50 litara samo se 7.5 litara korisno iskoristi, dok se preostale 42.5 litre transformiraju u toplinu i onečišćenje [15]. Od današnjih goriva koji se koriste za pogon automobila najveću iskoristivost imaju automobili na plin, zatim na diesel, a na kraju benzinski motori. Današnje optimalne efikasnosti za isti prijeđeni put (Wh/km):

- 42% za vozilo na gorive ćelije koje koristi komprimirani vodik
- 32% za vozilo na gorive ćelije koje koristi vodik proizveden iz metanola
- 25% vozilo koje koristi Diesel gorivo
- 20% vozilo koje koristi benzinska goriva

Tablica 1. Usporedba vodika i diesel-a [13]

Količina vodika	Ekvivalentna vrijednost u dieselu
1 Nm^3	0.30 l
1 l	0.24 l
1 kg	2.79 l

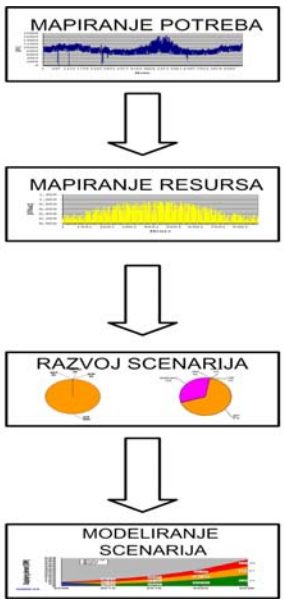
Kombinacijom gore navedenih tehnologija moguće je u znatnoj mjeri smanjiti onečišćenje okoliša, emisije štetnih plinova, smanjiti ovisnost o uvozu i trenutnoj geopolitičkoj situaciji, a također nije zanemariv i socioekonomski učinak. Regulacijom prodaje električne energije u mrežu, te uvođenjem poticaja može se očekivati da će ulaganje u obnovljive izvore i u

Hrvatskoj dobiti dodatni zamah. Upravo je zadatak ovog diplomskog snimiti situaciju na otoku Lošinju, njegove energetske potrebe, prirodne resurse, moguće scenarije. S ciljem okretanja prirodi i razvijanja modela energetskog sistema, koji se bazira na obnovljivim izvorima energije i omogućiti da se obnovljivi izvori energije u što većoj mjeri koriste na našim otocima.

2. RENEWISLANDS METODOLOGIJA

RenewIslands metodologija se bazira na četiri osnovna koraka koji se primjenjuju pri energetskom planiranju otoka [16-18].

1. Mapiranje potreba (potrošnje)
2. Mapiranje resursa
3. Predlaganje scenarija s tehnologijama koje će koristi raspoložive resurse
4. Modeliranje scenarija



Slika 3. Shema RenewIslands metodologije

Pod potrebama koje su potrebne lokalnom stanovništvu podrazumijevamo ne samo energiju (električna, toplinska, rashladna, gorivo itd.) nego i vodu, obradu otpada, otpadnih voda itd., a ovise o dobavi energije.

Pod resursima podrazumijevamo one koji su lokalno raspoloživi. To su vjetar, sunce, biomasa, geotermalna energija, energija mora (plima, oseka, morske struje), hidropotencijal. Također pod resursima podrazumijevamo i one resurse koje možemo uvesti na otok, kao električnu energiju (putem distribucijske mreže), plin koji se dobavlja putem plinovoda ili nekim drugim transportom (brodskim ili cestovnim prometom), nafta i njezini derivati, voda koja se transportira na otok (cijevima, brodskim ili cestovnim prometom), zatim potencijal rješavanja otpada i otpadnih voda.

Tehnologije su najčešće komercijalni uređaji i postrojenja za energetske transformacije kao što su to toplinski, hidro, vjetroelektrični generatori ili solarni termalni kolektori, komercijalni uređaji za tretiranje vode, otpada i otpadnih voda uključujući i desalinizaciju ili su to tehnologije koje prelaze iz demonstracijske faze u primjenu kao što je to upotreba geotermalne energije, solarne PV tehnologije ili tehnologije u fazi razvoja kao što su gorive ćelije, energija valova itd.

Prema zadanim ili nametnutim kriterijima te koristeći raspoložive resurse razvijaju se scenariji kojima se nastoji zadovoljiti jednu ili više potreba. Zbog problema globalnog zatopljenja te sigurnosti dobave i smanjenih rezervi, fosilna goriva bi trebala biti posljednja opcija pri postavljanju scenarija unatoč tome što će ona ponekad predstavljati ekonomski najisplativija rješenja s trenutačnim cijenama goriva na tržištu. Ipak naglasak pri odabiru treba biti na lokalno prisutnim obnovljivim resursima.

1. Korak: mapiranje potreba

Rješavanjem jednostavnog upitnika dobiva se pregled svih važnijih potreba. Nivo potrebe za svakim proizvodom (robom, komunalijama itd.) treba biti definiran lokalno, no generalno gledajući, da bi se dostigao održivi razvoj, voda i električna energija će uvijek biti visoko tražene bez obzira na to kolika je potrošnja po čovjeku ili stvarna ukupna potrošnja sa iznimkom ako se radi o zajednici od nekoliko kućanstava kada se mogu primijeniti individualna rješenja. Toplina će biti visoko tražena u hladnijim klimama dok će potrebe za rashladnom energijom biti visoko tražene u toplijim krajevima. Tretiranje otpada i otpadnih voda ovisit će o mogućnostima okoliša da apsorbira odbačene količine.

2. Korak: mapiranje resursa

Definiranje nivoa kvalitete svakog resursa ovisi o određenoj tehnologiji, ne ovisi o lokalnim uvjetima, a vrijednosti za svaku tehnologiju su opće poznate. Zbog izoliranosti otoka cijene energije iz konvencionalnih energetskih postrojenja mogu biti znatno više nego na kopnu tako da razni resursi koji možda ne bi bili isplativi u drugim regijama mogu postati kompetivni ako se uspoređuju s cijenom resursa koji se uvoze na otoke. Kao primjer može se navesti iskorištavanje energije vjetra koje može biti ekonomski isplativo već na režimima vjetra koji

su okarakterizirani nižim brzinama od onih pri kojima bi bila isplativa gradnja vjetroturbina na kopnu. U ovom se koraku prema uočenim potrebama i popisanim resursima mogu odrediti mogući nosioci energije ili energetske vektori. To će najčešće biti električna energija, jedno ili dva transportna goriva te područno grijanje u hladnijim regijama.

3. Korak: Razvoj scenarija u kojima se zadovoljavaju potrebe korištenjem raspoloživih resursa i njima primijenjenih tehnologija

Zbog sigurnosti dobave prednost se daje lokalnim energetskim resursima. Sljedeći prioritet pri odabiru scenarija je cijena tehnologija. Kod procjene utjecaja na okoliš svako rješenje mora biti sagledano s globalnog i lokalnog stajališta.

Ovaj korak se može podijeliti u četiri međukoraka:

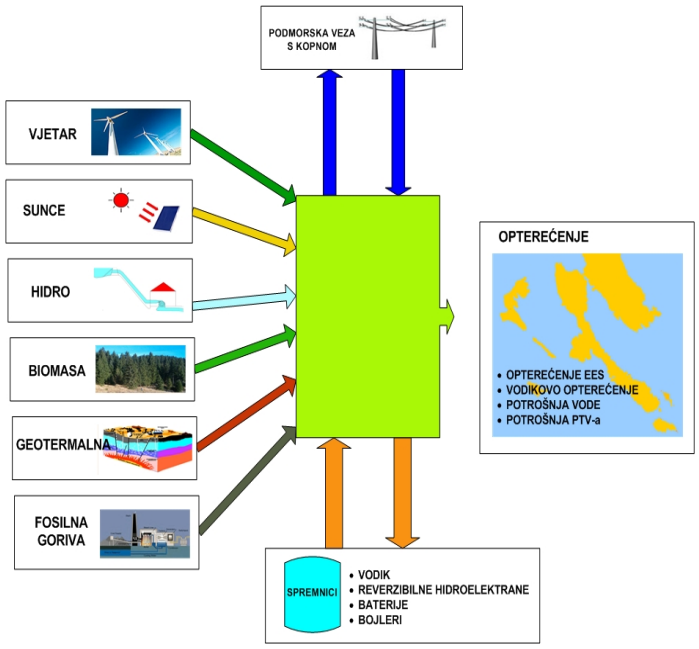
1. Izvodljivost tehnologija (energetske transformacije, opskrba pitkom vodom, tretiranje otpada, tehnologija obrade otpadnih voda)
2. Izvodljivost tehnologija za skladištenje energije, vode, otpada i otpadnih voda
3. Izvodljivost integracije raznih tokova (kogeneracija, trigeneracija, poligeneracija, itd.)
4. Razvijanje potencijalnih scenarija

4. Korak: Modeliranje (proračunavanje) scenarija

Kompliciran i čvrsto povezani tokovi ovise o tempiranju resursa, potražnji, itd. te jedini praktični način da se provjeri valjanost scenarija je da se oni detaljno modeliraju. Nakon provjere tehničke izvodljivosti scenarija te nakon što se odbace mnoga tehnički neprihvatljiva i neizvediva rješenja potrebno je ispitati ekonomsku održivost to jest izvodljivost scenarija, čak i u slučajevima kad je očito da se radi o demonstracijskim aktivnostima. Za modeliranje postoji nekoliko matematičkih modela. HOMER je napravljen prvenstveno za male izolirane sisteme, ali omogućuje i vezu energetskog sustava s kopnom. EnergyPLAN je namijenjen modeliranju nacionalnih i regionalnih sistema, strategijama uvođenja energije vjetra i ostalih intermitentnih izvora u buduću energetsku dobavu [19]. U ovom diplomskom koristio se H_2RES model, a u slijedećim poglavljima dan je opis i modeliranje scenarija u H_2RES-u.

2.1 Općenito o H_2RES-u

H_2RES model bazira se na analizi satnih vrijednosti potrošnje vode, električne energije, vodika te potrošne tople vode i izvora energije kao što su vjetar, solarna insolacija, biomasa, količina padalina te fosilna goriva. Svrha modela je energetsko planiranje otoka s mogućnošću sagledavanja različitih scenarija kako bi se omogućila bolja penetracija električne energije iz obnovljivih izvora u energetski sustav otoka te da bi se napravili energetski sustavi otoka koji su 100% obnovljivi, odnosno koriste samo obnovljive izvore energije [17]. Cijela aplikacija je napravljena u Microsoft Excel programu te joj to omogućuje jednostavnu nadogradnju. Glavni *workbook* zove se „H2RES“ i predstavlja sučelje gdje korisnik unosi podatke vezane uz svoj projekt i bira odgovarajuće tehnologije i kapacitete. Meteorološki kao i podaci o opterećenju nalaze se u odvojenim *workbookovima*. Shema H_2RES modela dana je na slici 4.



Slika 4. Shema H_2RES modela

Modul za vjetar koristi satnu brzinu vjetra, najčešće uzetu s meteorološke stanice na 10 m visine, koju prilagođava na visinu kućišta vjetroturbinskog generatora (huba) te za dani izbor vjetroturbina pretvara brzinu u izlaznu snagu. Solarni modul pretvara srednju stanu vrijednost globalne radijacije na horizontalnu površinu, dobivenu mjerenjem na meteorološkoj stanici, na zakošenu površinu, a potom u izlaznu snagu. Modul za vodu da bi predvidio količinu dotoka vode u rezervoar koristi podatke o količini padalina, tipično dobivene s obližnje

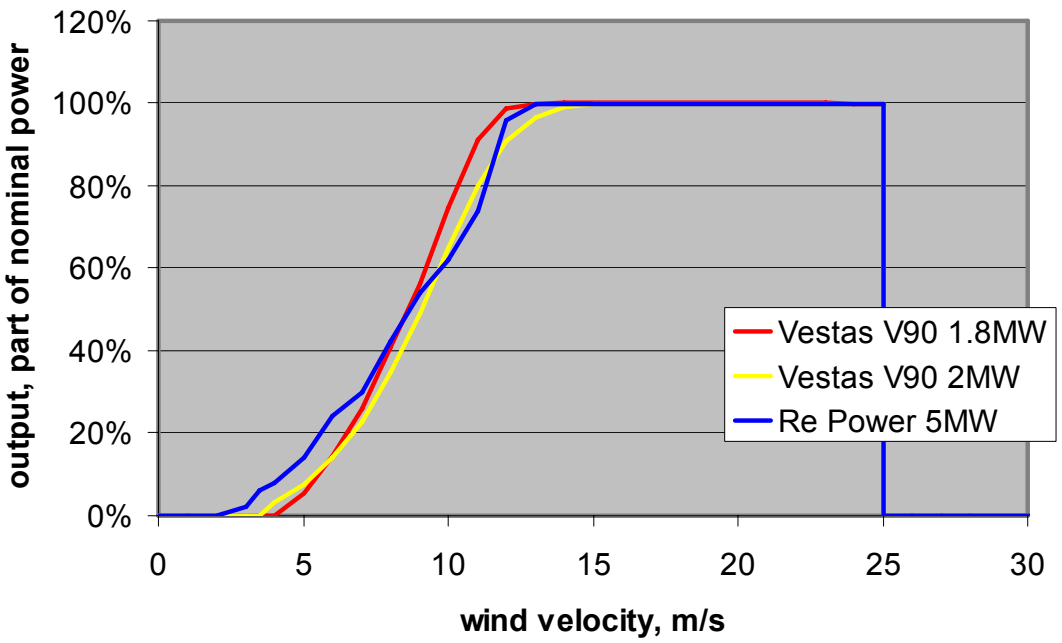
hidrometeorološke stanice, podatke o slivnom području te isparavanju temeljene na slobodnoj površini rezervoara. Modul za biomasu koristi podatke o bilanci sječa, dobivene od lokalne šumarije. Te za dani tip drveća ovisno o ogrjevnoj vrijednosti i tipu postrojenja daje izlaznu snagu. Modul za potrošnu toplu vodu kao i solarni modul pretvara srednju stanu vrijednost globalne radijacije za horizontalnu površinu na zakošenu površinu, a potom u energiju za zagrijavanje PTV-a. Glavni modul za opterećenje uzima u obzir sve gore navedene podatke te na osnovu danog kriterija o maksimalno dopuštenom udjelu električne energije iz obnovljivih izvora u elektroenergetskom sustavu, propušta dozvoljeni dio električne energije dok višak odbacuje. Višak električne energije iz obnovljivih izvora može se pomoću elektrolizera spremiti kao vodik, pomoću pumpi podići vodu u gornje rezervoare ili se može spremiti u baterije. Pri zagrijavanju PTV-a višak se sprema u toplinski spremnik. Ako otok ima vezu s elektroenergetskim sustavom na kopnu te nema ograničenja na udio električne energije iz obnovljivih izvora, višak električne energije se može izvesti u mrežu van otoka. Spremljena energija može biti vraćena kasnije i dostavljena kao električna energija u sustav ili u slučaju vodika može se koristiti za transport. Opterećenje, koje nije u glavnom modulu direktno pokriveno iz obnovljivih izvora te iz spremnika, pokriva se iz elektroenergetskog sustava na kopnu, ako je otok povezan s njime odnosno iz Diesel agregata ako nije povezan s EES na kopnu. Sam model može isto tako optimizirati potrošnju vode i vodika.

2.2 Modul za vjetar

Podaci o srednjoj satnoj brzini vjetra mogu se dobiti od najbliže meteorološke stanice koja ima ugrađeni anemometar ili se mogu izračunati pomoću modela u računalnim programima. Takvi podaci najčešće nisu prilagođeni za odgovarajuću lokaciju i visinu vjetroturbine pa se moraju naknadno prilagoditi. Podešavanje podataka na visinu vjetroturbine nešto je jednostavnije, a može se izvesti pomoću jednadžbe:

$$v_z = v_{10} \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^{\alpha} \tag{1}$$

Pretvaranje iz brzina u izlaznu snagu radi se pomoću karakteristike vjetroturbina dobivenih od proizvođača, a primjer je dan na slici 5.



Slika 5. Karakteristike turbina korištenih na otoku Lošinju

Na kraju se dobije ukupni potencijal $E_{W,pot}$ za određeni sat. Za računanje scenarija koristila su se tri tipa vjetroturbina. Tablica 2. daje osnovne karakteristike korištenih turbina.

Tablica 2. Karakteristike korištenih vjetroturbina na Lošinju [20-21]

Proizvođač	Model	Aktivna kontrola snage zakretanjem lopatica	Nazivna snaga [kW_e]	Visina kućišta [m]	Promjer [m]/ zahvatna površina [m^2]
Vestas	V90	da	1800	80	80/5027
Vestas	V90	da	2000	80	90/5027
REpower	5M	da	5000	126	100/12469



Slika 6. Montaža RE power 5MW



Slika 8. REpower 5MW



Slika7. Vestas V90



Slika 9. Vestas V90

2.3 Solarni modul

Podaci o srednjim vrijednostima satne sunčeve radijacije mogu se dobiti od najbliže meteorološke postaje ili nekim od programa koji omogućuju simulaciju vremena za danu geografsku širinu. Jedan od programa koji to omogućuje je Meteonorm. Koristeći podatke dobivene na ovaj način unosimo određenu grešku u naš proračun, ali koja je u dopuštenim granicama [11]. Podaci dobiveni od meteorološke stanice su najčešće ukupno sunčevo zračenje na ravnu površinu koje je teško prilagoditi za kut nagiba PV modula zbog nedostatka informacija o raspršenom i izravnom sunčevom zračenju. PV-GIS model [24] je korišten za

određivanje faktora prilagodbe za danu lokaciju, pomoću tog faktora može se utvrditi iznos ukupnog sunčevog zračenja na zakošenu površinu iz poznate vrijednosti ukupnog sunčevog zračenja na ravnu površinu. Podaci o učinkovitosti PV modula mogu se nabaviti od proizvođača, a oni su neophodni za izračunavanje ukupnog, satnog, izlaznog, električnog potencijala PV panela $E_{PV,pot}$

Električni potencijal PV panela za *n-ti* sat:

$$E_{PV,pot}^{n} = \chi_m \cdot \mu_{PV} \cdot E_{PV,m}^{n} \quad (2)$$

Gdje su $E_{PV,m}^{n}$ mjereno ukupno sunčevo zračenje na horizontalnu površinu, μ_{PV} ukupna učinkovitost PV panela, χ_m predstavlja faktor pretvorbe ukupnog sunčevog zračenja na horizontalnu površinu u ukupno sunčevo zračenje na zakošenu površinu. Svaki mjesec *m* ima zaseban faktor.

Ukupna učinkovitost PV panela:

$$\mu_{PV} = \mu_{PV,\mathrm{mod}} \cdot \mu_{PV,con} \cdot \mu_{PV,los} \quad (3)$$

gdje su $\mu_{PV,\mathrm{mod}}$ učinkovitost PV modula, $\mu_{PV,con}$ učinkovitost DC/AC konvertera te koeficijent gubitaka $\mu_{PV,los}$.

2.4 Hidro modul

Podaci o satnoj količini padalina mogu se dobiti od najbliže meteorološke stanice ili mogu biti utvrđeni iz dnevnih, tjednih ili mjesečnih srednjaka. Okvirno, potrebna vremenska gustoća podataka o količini padalina trebala bi ovisiti o veličini spremnika. Isparavanje po jedinici slobodne površine treba biti izračunato ili se treba utvrditi mjerenjima. Razlika između količine padalina te isparavanja dati će ukupni priljev vode u spremnike. Modul ima dva rezervoara, gornji koji se puni padalinama i donji. Donji se isto tako može prazniti isparavanjem, no može se prazniti i potrošnjom vode koja ovisi o potrebama stanovništva te o potrebama drugih procesa. Hidro modul nije korišten pri izradi diplomskog jer su na Lošinju male količine oborina.

2.5 Modul za vodik

Potrošnja vodika E_{H_2load}, koja može biti za transport ili za neke druge potrebe, treba biti dana na satnoj osnovi za cijeli period i treba biti iskazana u jedinicama koje prikazuju količinu energije. U slučaju da se vodik koristi za transport dani podaci će predstavljati srednju satnu potrošnju, no zbog toga što vozila sadrže vlastite spremnike, njihova stvarna potrošnja nije trenutno uzeta iz centralnog spremnika već se ona dobavlja nekoliko puta tjedno za vrijeme punjena spremnika vozila.

2.6 Modul za fosilna goriva

Modul za fosilna goriva sastoji se od izbora broja blokova, izbora snage pojedinog bloka, minimalnog opterećenja s kojim blok može raditi i tipa goriva pojedinog bloka. Također blokovi mogu proizvoditi zasebno električnu energiju ili toplinsku energiju, ili raditi kao kogeneracijsko postrojenje.

2.7 Geotermalni modul

Sastoji se od izbora broja blokova, izbora snage pojedinog bloka, minimalnog opterećenja s kojim blok može raditi. Svaki blok radi s određenim stupnjem učinkovitosti, te minimalnim opterećenjem s kojim pojedini blok može raditi. Također zadaje se i satno ograničenje na upliv energije iz geotermalnih izvora.

2.8 Modul za biomasu

Podaci o biomasi unose se u *workbook* pod nazivom „BioData“, gdje postoji mogućnost izbora 10 različitih tipova biomase, koje zatim unutar „H_2RES“ *workbooka* možemo kombinirati. Razni tipovi biomase mogu se koristit za proizvodnju energije. Prema tipu izvora, biomasu možemo podijeliti u tri grupe:

- drvna biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo)
- drvna uzgojena biomasa (brzorastuće drveće)
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede

Podaci o učestalosti sakupljanja biomase tokom godine izuzetno su bitni kako bi znali koliko je biomase na raspolaganju i kada. Ona može biti: dnevna, tjedna, mjesečna, sezonska. Na temelju unesenih podataka donosimo odluku o instaliranom kapacitetu. Ako koristimo otpadno drvo, odnosno ostatke iz šumarstva podaci se mogu nabaviti od lokalnog poduzeća, odnosno šumarije, u Hrvatskoj su to Hrvatske Šume. Takvi podaci sastoje se od godišnjih planova o sjeći šuma. Podaci se sastoje kako od količine drvne mase tako i od vrste drveta. Postrojenje na biomasu može proizvoditi samo električnu energiju ili samo toplinu, ili raditi kao kogeneracijsko postrojenje. Da bi proizveli korisnu energiju, postoje različite načini konverzije pomoću različitih tehnologija. Mogu se podijeliti u tri grupe: termokemijska i biokemijska konverzija, te ekstrakcija. Postupak se bira prema željenom krajnjem produktu i karakteristikama biomase. Općenito biomasa s malim udjelom vlage pogodna je za termokemijsku obradu, a biomasa s velikim udjelom vlage za biokemijsku obradu. Termokemijska konverzija zahtjeva toplinu kako bi se oslobodila energija iz biomase. Krajnji produkti mogu biti: toplinska energija, električna energija te plin ili biogorivo. Potkategorije ove konverzije su: direktno izgaranje ili poboljšanje kvalitete goriva uplinjavanjem, ili pirolizom. Biokemijska konverzija koristi prirodne procese raspadanja kako bi se dobili manji ugljikovodici u kontroliranoj okolini. Anaerobno vrenje i fermentacija se koriste za dobivanje plina i biogoriva. Ekstrakcija je mehanička metoda za pretvorbu biomase u gorivo.

Pozitivna karakteristika biomase je da ima zanemariv udio sumpora i metala. No ima velik udio pepela što dovodi do onečišćenja, a može sadržavati i tragove klora što uzrokuje koroziju opreme. Karakteristike biomase izuzetno su važne budući da energetska vrijednost i postotak vlage mogu značajno varirati od lokacije do lokacije, sezonski i godišnje. Općenito biomasa ima energetsku vrijednost mnogo manju u odnosu na konvencionalna goriva. Razlog tome je manji udio ugljika i visok postotak kisika. Udio vlage značajno utječe na energetsku vrijednost biomase, njeno povećanje od 10% uzrokuje smanje donje ogrjevne vrijednosti za 11%. Biomasa koja ima udio vlage veći od 55% se ne koristi za izgaranje ili gasifikaciju, ali je pogodna onda za proces fermentacije. Prilikom skladištenja dolazi do promjene u udjelu vlage, gubitka suhe tvari, oslobađanja stakleničkih plinova, također promjena u kemijskom sastavu i ono što je najvažnije gubitka energetske vrijednosti. Slijedeći značajni podatak je gustoća biomase, jer značajno utječe na troškove prijevoza. I upravo je transport ono što ima najveći utjecaj na ekonomičnost biomase kao energije. Na Lošinju je postojala ideja o izvozu biomase s otoka do prvog najbližeg postrojenja koje radi na biomasu. Napravljena je

ekonomska analiza i došlo se do zaključka da se svaka eventualna ekonomska korist izgubi na transportu do trajektnog pristaništa.

Odabir veličine postrojenja vrši se na temelju tipa drvne mase, odnosno njezinoj ogrjevnoj vrijednosti, postotku vlage, vodika, gustoći te naravno godišnjem kapacitetu. Pri računanju energetske vrijednosti biomase koje imamo na raspolaganju korištene su slijedeće formule:

$$HHV_d = -136.75 + 31.37 \cdot C + 70.09 \cdot H + 3.18 \cdot O \quad (4)$$

gdje je,

$$O = 1 - C - H - a \quad (5)$$

Ugljik (C), vodik (H) i pepeo (a) su dani kao maseni udjeli po jedinici suhe gorive tvari. Udio vlage (H_2O) dan je kao maseni udio po jedinici vlažne gorive tvari.

$$HHV_{wet} = HHV_{wet}\left(1 - H_2O\right) \quad (6)$$

$$LHV_d = HHV_d - 2.442 \cdot 8.936 \cdot H \quad (7)$$

$$LHV_{weti} = LHV_d\left(1 - H_2O\right) - 2.442 \cdot H_2O \quad (8)$$

2.9 Modul za potrošnu toplu vodu (PTV)

Da bi se koristio modul za potrošnu toplu vodu potrebni su podaci o toplinskom opterećenju i podaci o ukupnom sunčevom zračenju na ravnu površinu. Podaci o učinkovitosti solarnih termalnih kolektora mogu se nabaviti od proizvođača, a oni su neophodni za izračunavanje ukupnog, satnog, izlaznog, toplinskog potencijala solarnih termalnih kolektora $Q_{C,pot}$. Podatke o tipu materijala i izolaciji spremnika PTV-a mogu se također nabaviti od proizvođača, a na osnovu kojih možemo izračunati ukupni, satni gubitak zbog prijenosa topline između spremnika i okoline Q_{los} . Potrebni su nam podaci i za medij koji se nalazi u sustavu PTV-a, odnosno podaci za gustoću i specifični toplinski kapacitet vode. U modulu su uzeta konstantna svojstva vode kao i konstantna temperatura vode koja dolazi iz vodovoda i temperatura vode prema korisnicima.

Podaci korišteni za potrošnu toplu vodu:

$\rho_W = 998.15\,\text{kg/m}^3$

$c_W = 4.18\,\text{kJ/(kgK)}$

$T_{in} = 15\ ^\circ\text{C}$

$T_{out} = 60\,^\circ\text{C}$

Toplinski potencijal solarnih termalnih kolektora za n-ti sat:

$$Q^n_{C,pot} = \mu_C \cdot Q^n_{s,m} \ \ [\text{W}_\text{t}] \tag{9}$$

$$\mu_C = k_C \cdot \chi_C \tag{10}$$

Gdje je μ_C ukupna učinkovitost solarnog kolektora. Ona je definirana kao raspoloživa toplinska energija naspram raspoložive energije Sunca. Osim toplinskog k_C (zbog razlike između temperature apsorbera i okoline) javlja se i optički gubitak. Faktor pretvorbe ukupnog sunčevog zračenja χ_C označuje postotak sunčevih zraka koje penetriraju kroz transparentnu površinu i postotak koji se apsorbira.

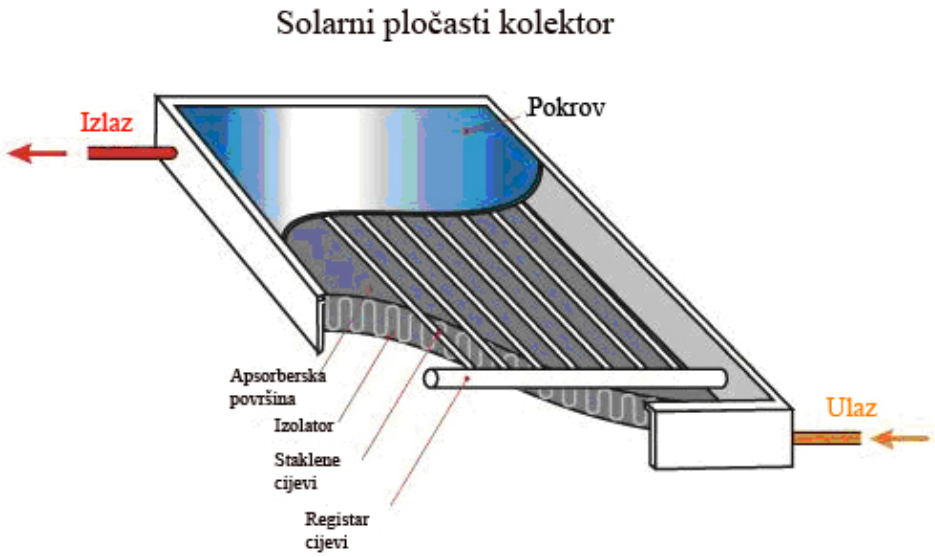
U sustavu pripreme potrošne tople vode nalazi se i spremnik. Efikasnost spremnika definirana je kao efikasnost s kojom topla voda ulazi u spremnik (iznosi 90%) i gubici zbog prijenosa topline između spremnika i okoline (zbog dobre izolacije spremnika oni su minimalni, ali su ovim modelom i oni uzet u obzir). Gubici zbog prijenosa topline između spremnika i okoline modelirani su prema formuli za n-ti sat:

$$Q^n_l = k_S \cdot A_S \cdot (T_S - T^n_o) \ \ [\text{W}] \tag{11}$$

Gdje je k_S koeficijent prolaza, A_S vanjska površina spremnika, T_S je temperatura spremnika, a T_o je temperatura okoline. T_S je uzeta kao konstantna vrijednost i s time se unosi određena greška u proračun. T_o je satna vrijednost temperature okoline, a podaci o temperaturi dobiveni su od Državnog hidrometeorološkog zavoda za meteorološku postaju Mali lošinj.

Glavne komponente solarnog sustava za pripremu PTV-a jesu kolektor, spremnik, pumpa, automatika i regulacija te konvencionalni (pomoćni) grijač. Solarni sustav može raditi na tzv.

termosifonskom načelu ili može biti složeniji te imati prisilnu cirkulaciju, odnosno ugrađenu crpku. Na Lošinju su se koristili solarni pločasti kolektori, koji su ujedno danas i najčešće u primjeni, slika 10. prikazuje jedan takav kolektor. Solarni pločasti kolektor sastoji se od metalne konstrukcije sa pokrovom (staklo ili plastika čiji je zadatak zadržati toplinu unutar kolektora, tzv. efekt staklenika) i apsorbera na dnu (površina čiji je zadatak omogućiti što bolji prijenos toplinske energije na fluid, odnosno zrak ili vodu što cirkulira unutar cijevi). Apsorber je obično napravljen od metala (bakar ili aluminij) i premazan sa posebnim materijalom kako bi apsorbirao toplinu što efikasnije. Također kolektor ima i posebnu izolaciju, poliuretansku pjenu i različita vlakna kako bi se smanjio toplinski gubitak na stražnjoj strani.



Slika 10. Solarni pločasti kolektor

Spremnici topline izrađuju se od čelika, betona, plastičnih materijala i slično. Čelične rezervoare treba obložiti zaštitnim slojem s unutrašnje strane da bi se spriječilo korozivno djelovanje vode. Cijevi za dovod vode u spremnik i odvod vode iz njega potrebno je dobro izolirati tako da bi gubici topline bili što manji.

2.10 Modul za električno opterećenje

Srednje satne vrijednosti opterećenja elektroenergetskog sustava trebaju se nabaviti od lokalne tvrtke koja se bavi distribucijom, a u Hrvatskoj je to HEP. Satne vrijednosti

predstavljaju dosta vjeran prikaz stvarne situacije jer solarna radijacija, opterećenje sustava i vjetar najčešće nemaju iznenadnih promjena u kraćem vremenskom razmaku. Ako imamo sustav u kojem se vjetar znatno mijenja trebalo bi prilagoditi model za računanje u 10 minutnom periodu.

Mali elektroenergetski sustavi najčešće imaju frekvenciju snage reguliranu pomoću jednog bloka pa se mali iznos snage koja dolazi iz ostalih izvora lako prilagodi sinkroniziranom radu. Sa sigurnošću se može reći da u svakom pojedinom satu, maksimalna snaga koja može doći iz izvora bez kontrole frekvencije iznosi oko 30%. To dozvoljava čak i veći udio tijekom kraćih vremenskih perioda. Takvo ograničenje postavljeno na obnovljive izvore, će tipično za vjetar, dozvoliti proizvodnu električne energije od samo 10 – 15% od ukupnog godišnjeg iznosa.

Modul za opterećenje H_2RES modela, kojem je zadano satno ograničenje na upliv energije iz obnovljivih izvora, računa koliko se može uzeti električne energije iz obnovljivih izvora, a višak je raspoloživ za spremanje, desalinizaciju ili neku drugu vrstu potrošnje.

Ako još uvijek postoji nepokriveno opterećenje ono će se namiriti iz elektrane na geotermalnu energiju ili iz elektrane na biomasu. Ako potrebe još nisu zadovoljene koristi se energija iz spremnika ili iz mreže na kopnu ako ona postoji odnosno iz Diesel agregata ako nema veze sa elektroenergetskim sustavom na kopnu. Ako postoje instalirane hidroturbine, iz njih će se prvo namirivati nepokriveno opterećenje u slučaju da ima dosta spremljene vode u gornjem rezervoaru. Goriva ćelija će se sljedeća po redu koristiti za namirivanje nepokrivenog opterećenja, a na kraju dolaze baterije ako se opterećenje nije uspjelo namiriti iz ostalih izvora. U slučaju gdje elektroenergetski sustav na otoku nema vezu sa sustavom na kopnu, a nepokriveno opterećenje je manje od tehničkog minimuma Diesel blokova, snaga Diesel blokova će biti svedena na minimum dok će se smanjiti energija koja dolazi iz drugih izvora.

$$E_{load} = E_{I,t} + E_{geo} + E_{bio} + E_T + E_{FC} + E_{bat,out} - E_P - E_{el} - E_{bat,in} + E_G + E_D \qquad (12)$$

gdje je E_{geo} geotermalna energija, E_{bio} energija dobivene iz biomase. E_T , E_{FC} i $E_{bat,out}$ energija iz hidro turbina, gorivih ćelija i baterija, dok su E_P , E_{el} , $E_{bat,in}$ energija utrošena na pumpanje vode u gornje rezervoare, elektrolizu vode i punjenje baterija. E_G je energija iz mreže na kopnu dok je E_D energija iz Diesel agregata.

Intermitentna električna energija iz obnovljivih izvora uzeta u sustav otoka $E_{I,t}$ je definirana ograničenjem na udio intermitentne energije φ_1 i intermitentnim potencijalom $E_{I,pot}$.

$$E_{I,t} = MIN(\varphi_1 \cdot E_{load}, E_{I,pot}) \tag{13}$$

gdje je intermitentni potencijal zbroj vjetro i PV potencijala.

$$E_{I,pot} = E_{W,pot} + E_{PV,pot} \tag{14}$$

Intermitentni potencijal će biti ili uzet u sustav ili će se iskoristiti za pumpanje vode, za elektrolizu ili spremanje u baterije, dio ostatka će biti poslan u mrežu na kopnu $E_{G,s}$ ako postoji veza i ako nema ograničenja na udio obnovljivih izvora u elektroenergetskom sustavu. Sav ostali višak koji ne može biti poslan u mrežu na kopnu, a što ovisi o maksimalnoj struji koju mogu podnijeti podmorski kabeli, bit će odbijen.

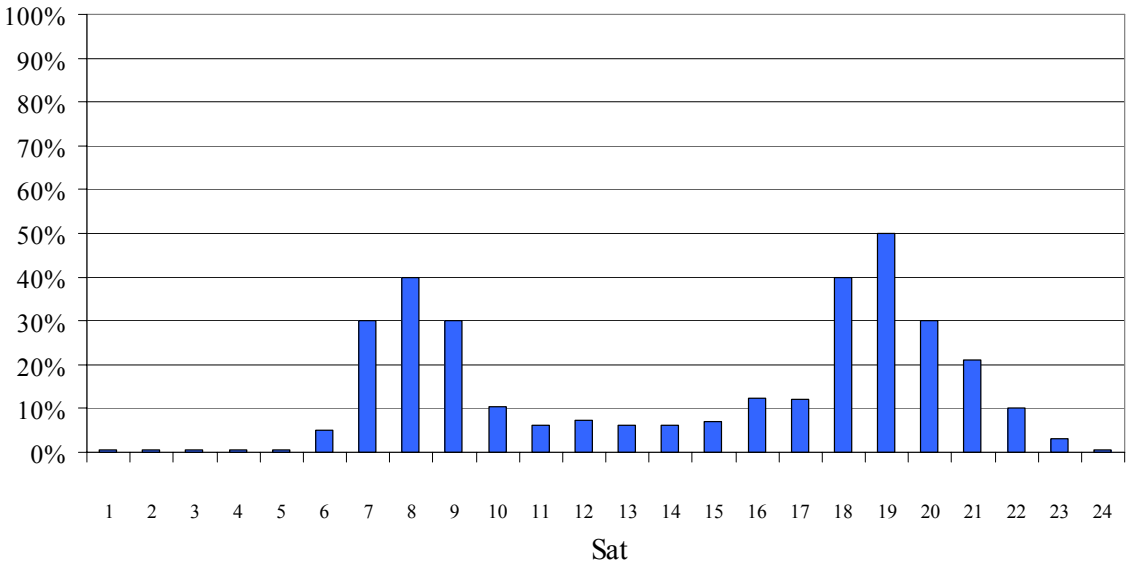
$$E_{I,pot} = E_{I,t} + E_P + E_{el} + E_{bat,in} + E_{G,s} + E_r \tag{15}$$

Pumpe trebaju raditi samo u optimalnoj točci, dok elektrolizer ne bi smio biti često uključivan i isključivan. Snaga pojedinih komponenti i vrijeme uključivanja blokova predstavljaju ograničenja na spremanje energije iz intermitentnih izvora.

2.11 Modul za toplinsko opterećenje

Podaci o satnom toplinskom opterećenju trebaju se nabaviti od lokalne tvrtke koja se bavi toplinarstvom, a u Hrvatskoj je to HEP Toplinarstvo. No na otocima ili manjim mjestima takvo poduzeće ne postoji. U takvoj situaciji moguće je nabaviti godišnju potrošnju energije potrebnu za grijane, kuhanje, potrošnu toplu vodu, te onda te podatke ekstrapolirati na satne vrijednosti. U slučaju potrošnje PTV-a moguće je nabaviti potrošnju vode od lokalnog poduzeća zaduženog za vodoopskrbu, te onda na osnovu te potrošnje izračunati potrošnju PTV-a.

Pri modeliranju scenarija, potrošnja potrošne tople vode (PTV-a) dobivena je na osnovu podataka o mjesečnoj potrošnji vode, odnosno potrošnja PTV-a uzeta je kao određeni postotak od potrošnje vode. S većim udjelom u potrošnji tijekom jutra i poslijepodnevnim satima (slika 11.).



Slika 11. Potrošnja PTV-a izražena kao postotak u satnoj potrošnji vode

2.12 Modul za spremanje

Modul za spremanje može se zasnivati na elektrolizeru, na spremniku za vodik i gorivim ćelijama, ili na hidro spremniku za pumpanje vode, reverzibilnoj hidroturbini ili na baterijama. Priljev u sustav spremnika je ograničen s odabranom snagom elektrolizera, pumpi te kapacitetom punjenja baterija pa višak električne energije iz obnovljivih izvora može biti veći od mogućnosti spremanja ili ne može biti spremljen zbog popunjenosti spremnika te mora biti poslan u mrežu na kopnu ako postoji veza s njom i ako nema ograničenja na udio obnovljivih izvora u elektroenergetskom sustavu. U krajnjem slučaju, ako nije ispunjen niti jedan od prije navedenih uvjeta višak električne energije bit će odbačen. Na otocima često postoji potreba za desalinizacijom morske vode pa se odbačena električna energija može dobro iskoristiti u tom području ili može biti korištena za navodnjavanje u poljoprivredi ili hlađenje.

Svaka jedinica za spremanje radi s određenim stupnjem učinkovitosti, koje iznosi 40-60% za elektrolizer μ_{el}, oko 70% za pumpe te 90% za baterije. Od elektrolizera se očekuje da proizvodi vodik koji je već na tlaku pogodnom za spremanje kako bi se izbjeglo komprimiranje. Sama veličina spremnika i izlazni tlak elektrolizera ograničavaju kapacitet spremnika. Volumen gornjeg rezervoara i maksimalni volumen vode za pumpanje u donjem rezervoaru ograničavaju količinu vode koja može biti prepumpana, kapacitet baterija je dan od proizvođača. Maksimalni volumen vode raspoložive za pumpanje u donjem rezervoaru treba biti postavljena kao ukupna spremljena voda u donjem rezervoaru, koja može biti neograničena ako je donji rezervoar more, ili mogu biti uzete u obzir potrebe za vodom npr. potrošnja vode iz vodovoda ako se spremnik koristi i u te svrhe.

Spremljeni vodik može se iskoristit u bilo kojem trenutku u stacionarnoj gorivoj ćeliji ili za mobilne gorive ćelije u vozilima tako da on može poslužiti kao temeljni kamen u prevođenju transporta s klasičnog goriva, u transport s vodikom. Goriva ćelija, s danom učinkovitosti μ_{FC}, oko 50% može koristiti vodik i proizvoditi električnu energiju koja će se isporučiti elektroenergetskom sustavu otoka. Male gorive ćelije mogu biti kontrolirane mrežom, ali one veće moraju imati frekvencijsku i naponsku regulaciju. Goriva ćelija može potrošiti samo onoliko vodika koliko ga ima u spremniku, a njena izlazna snaga u bilo kojem trenutku ne može nikad biti veća od opterećenja elektroenergetskog sustava.

Voda spremljena u gornjem rezervoaru može biti iskorištena u bilo kojem trenutku ili za pokretanje hidroturbine, ili za zadovoljavanje vodnog opterećenja. Turbinsko postrojenje ima iskoristivost oko 70%, ono koristi vodu iz gornjeg rezervoara, proizvodi električnu energiju koja ide u otočnu mrežu, te puni donji spremnik. Turbinski generator će najčešće imati regulaciju snage, frekvencije i napona, a često može imati i regulaciju izlazne snage. Turbine mogu koristiti samo onu količinu vode koja je spremljena u gornji rezervoar, a njena izlazna snaga ne može niti u jednom momentu biti veće od opterećenja.

Energija akumulirana u spremniku vodika u n satu je:

$$E_{H_2}^{n} = E_{H_2}^{n-1} - \frac{E_{FC}}{\mu_{FC}} - E_{H_2 load} + \mu_{el} \cdot E_{el} \qquad (16)$$

zadovoljavajući uvjet da spremljeni vodik mora biti u rasponu od praznog do punog spremnika. Isto tako, gorivoj ćeliji nije dopušten rad u slučaju da je u spremniku manja količina vodika od one potrebne za zadovoljavanje vodikovog opterećenja za određeni broj sati $t_{H_2 \text{sec}}$:

$$E_{H_2}^{n-1} < t_{H_2 \text{sec}} E_{H_2 load} \Rightarrow E_{FC} = 0 \qquad (17)$$

3. PRIMJENA RENEWISLANDS METODOLOGIJE NA OTOKU LOŠINJU

3.1 Geografski položaj i karakteristike

Područje Grada Malog Lošinja tipično je jadransko područje koje uključuje otok Lošinj te manji dio otoka Cresa. Grad Mali Lošinj obuhvaća naselja Veli Lošinj, Mali Lošinj, Ćunski, Sv. Jakov, Nerezine, te četiri naselja na otoku Cresu. To su: Osor, Punta Križa, Ustrine i Belej. Također pod upravu grada Malog Lošinja spada i otočni arhipelag kojeg čini 7 većih nastanjenih otoka; Unije, Vele i Male Srakane, Susak, Ilovik i Sv. Petar, te 19 manjih nenastanjenih otoka, grebena i hridi u prostranom morskom području (slika 12. i slika 13.). Cijelo ovo područje smješteno je na sjeverozapadnom dijelu Sjevernog Jadrana, na zapadnoj strani Kvarnerskog zaljeva, a u okviru Primorskogoranske županije.

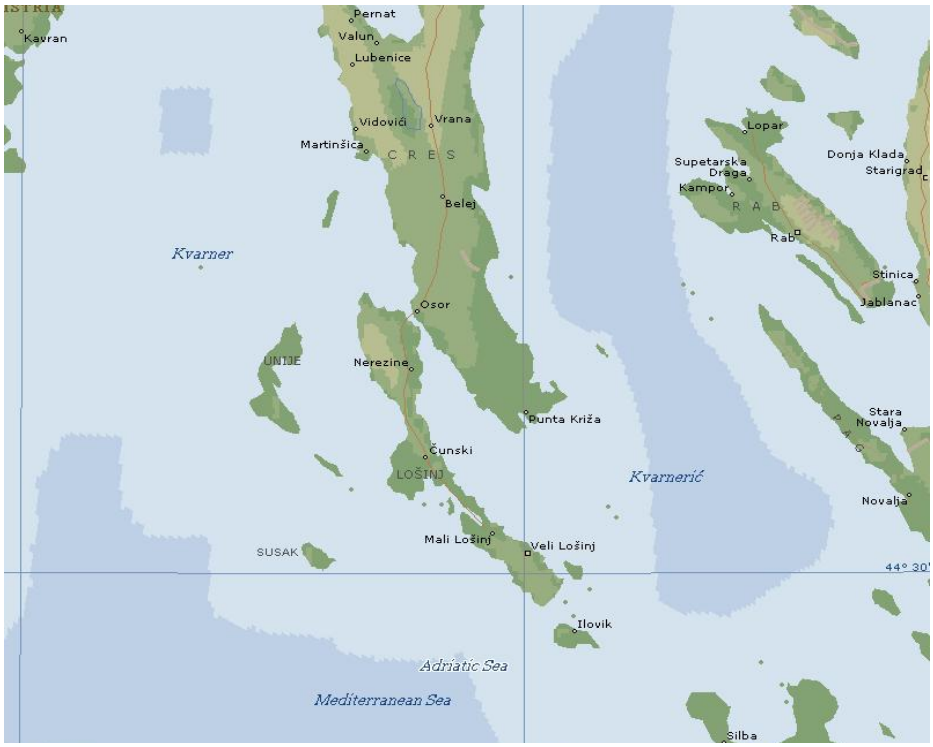


Slika 12. Lošinjski arhipelag

Ovo se otočno područje odlikuje velikom raznolikošću krajolika, vrlo razvedenom obalom, pravom sredozemnom klimom, bogatom vegetacijom i specifičnom faunom. Najsjevernije je područje u Europi koje ima izrazitu sredozemnu blagu klimu i gdje uspijeva limun na otvorenom zemljištu.

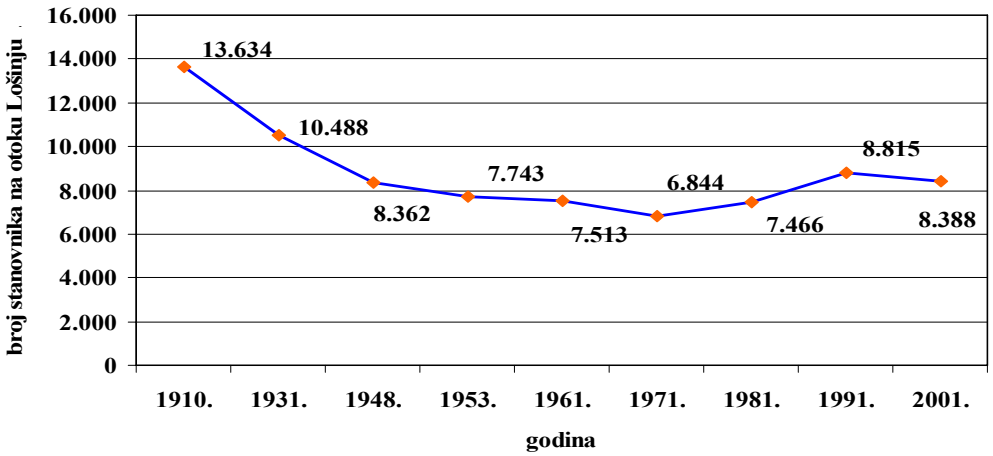
Prostor grada Malog Lošinja bio je od davnina privlačan i nastanjen. Cresko-lošinjsko otočje zvalo se u Antičko doba zajedničkim imenom Apsyrtides (po grčkom junaku Apsirtu). Legenda kaže da je kralj (Eeta iz Kolhide) posjedovao zlatno runo. Jason je uz pomoć Medeje

(kraljeve kćeri) ukrao zlatno runo, pa se na brodu Argo, sa svojim Argonautima dao u bijeg. Apsirt, kraljev sin, krenuo je svojim brodom u potjeru za otmičarima. Nakon duga putovanja potjera je sustigla otmičare. Medeja je prijevarom namamila brata Apsirta na pregovore, a Jason ga je iz zasjede ubio. Medeja je rasjekla Apsirtovo mrtvo tijelo i njegove udove pobacala u more. Od rasječena Apsirtova tijela nastali su Apsirtovi otoci – Apsyrtides [22]. U rimsko doba vodeće naselje na cresko-lošinjskom otočju bio je Osor. Za razliku od njega, Velo i Malo Selo (današnji Veli i Mali Lošinj) osnivaju se prilično kasno, u 13. stoljeću. Zahvaljujući pomorstvu i brodogradnji te kasnije razvoju turizma Mali Lošinj se razvio u najveće i najvažnije naselje. Privremeni prirodni poremećaji ili posljedice ratova otklanjali su se u relativno kratkim rokovima.



Slika 13. Akvatorij otoka Lošinja

U razdoblju 1857-1921. stanovništvo grada Malog Lošinja održavalo se na razini od blizu 12000 ljudi, ali se nakon toga smanjivalo sve do 1971 (slika 14.). U tih 50 godina prosječno godišnje smanjenje bilo je 1.1%. U posljednjih 30 godina prosječna godišnja stopa rasta bila je 0.7%, uglavnom zbog pozitivnog mehaničkog priljeva.



Slika 14. Kretanje broja stanovnika na otoku Lošinju [4]

Očekuje se da će u narednih 15 godina biti zaustavljen proces depopulacije i da će se nešto ublažiti priljev imigranata. Projekcija porasta stanovništva prema trendu u razdoblju 1981.-2001. rezultirala bi brojem od 9450 stanovnika 2015. godine.

Tablica 3. Površina po mjestima na otoku Lošinju [23]

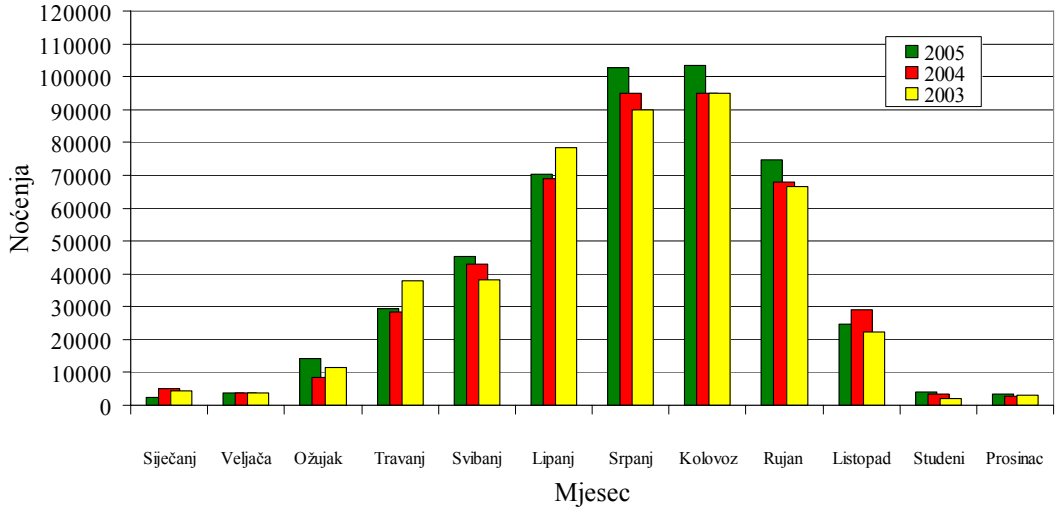
br.	**NASELJE**	**POVRŠINA** (statističkog područja)	
		km^2	**%**
1	BELEJ	33,92	15,08
2.	ĆUNSKI	14,54	6,46
3.	ILOVIK	6,48	2,88
4.	MALE SRAKANE	0,61	0,27
5.	MALI LOŠINJ	12,90	5,73
6.	NEREZINE	32,42	14,41
7.	OSOR	23,57	10,48
8.	PUNTA KRIŽA	40,00	17,78
9.	SUSAK	3,76	1,67
10.	SVETI JAKOV	7,28	3,24
11.	UNIJE	16,93	7,52
12.	USTRINE	14,33	6,37
13.	VELE SRAKANE	1,19	0,53
14.	VELI LOŠINJ	17,06	7,58
	Ukupno	**224,99**	**100**

izvor: podaci popisa stanovništva 1981. 1991. 2001.

3.2 Gospodarstvo i potrebe za energijom

Otok Lošinj povezan je pokretnim mostom sa otokom Cresom, a onda preko otoka Cresa trajektnom vezom Merag-Valbiska sa otokom Krkom s jedne i kopnom trajektnom vezom

Porozina-Brestova s druge strane. Osnovne gospodarske djelatnosti na otoku su turizam, trgovina, promet, obrtništvo i komunalne djelatnosti. Vodeća djelatnost je turizam, a ostalo su djelatnosti u njegovoj funkciji, uz zadovoljavanje potreba domicilnog stanovništva. Ljetna sezona traje oko 3 mjeseca (slika 15.-17.). U to vrijeme aktiviraju se i ostale djelatnosti - trgovina, usluge, kulturne i športske priredbe, a posebno se povećava promet trgovine. Što sve dovodi do povećane potrošnje svih resursa (voda, okoliš, električna energija). Na primjeru Jadranke (najveće otočko poduzeće čija je primarna djelatnost upravo turizam) možemo vidjeti povećanje potreba za električnom energijom (slika 18. Potrošnja električne energije [MWh] tijekom godine za Jadranka hotele).



Slika 15. Broj noćenja po mjesecima u razdoblju 2003. – 2005. godina (izvor. Jadranka d.d.)

Tablica 4. Turistički kapaciteti na otoku Lošinju

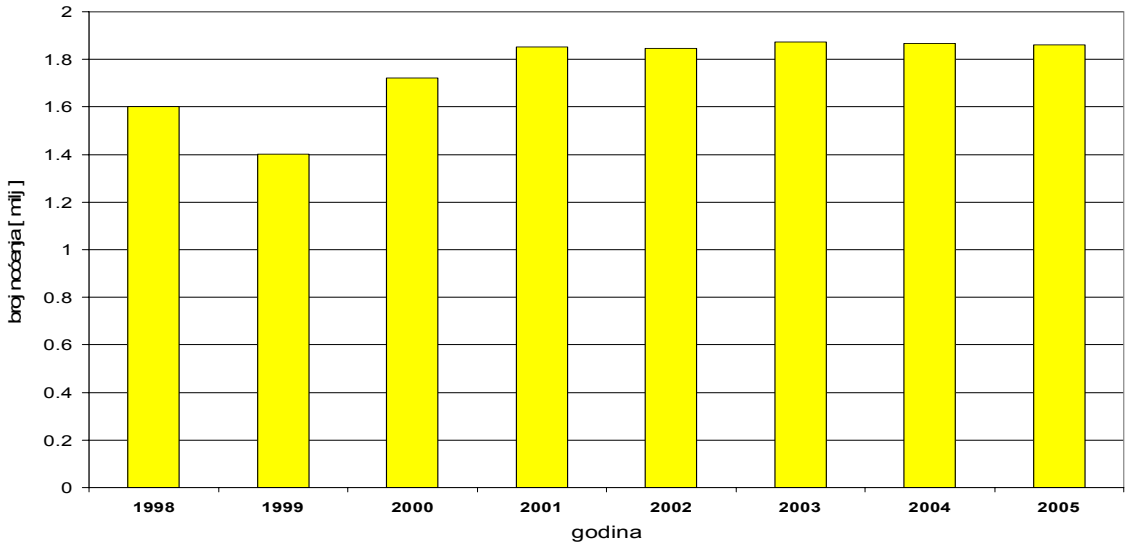
	Grad Mali Lošinj 2006
Hoteli	3422
Odmarališta i ljetovališta*	1346
Lječilišta*	180
Kampovi	8750
Privatne sobe	5796
Ukupno	19494

izvor. Turistička zajednica grada Malog Lošinja

- izvor: Ljetopisi i podaci Županijskog zavoda za statistiku Rijeka

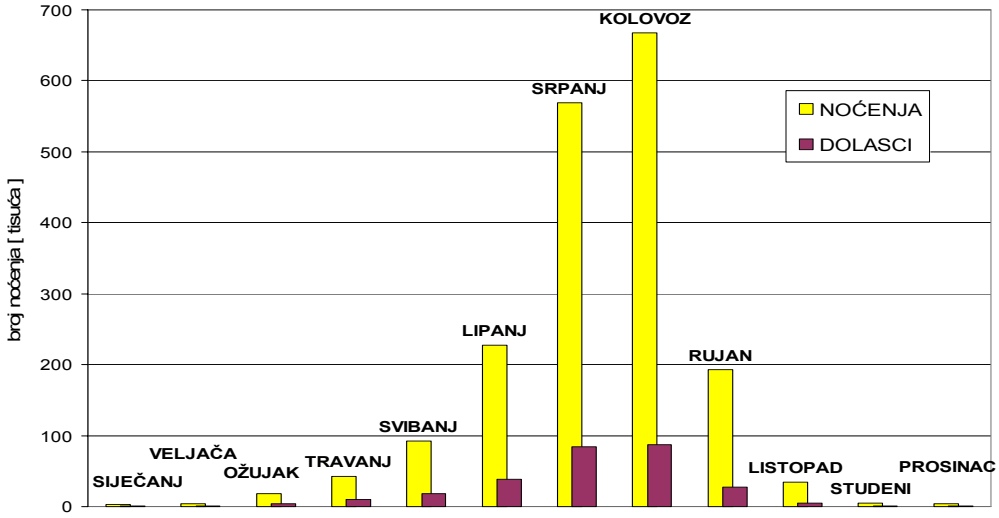
Turistički kapaciteti naročito su se povećali u razdoblju 1965-1980. izgradnjom novih hotela,

odmarališta i kampova te kućica za odmor i to prije svega u Malom i Velom Lošinju te u ostalim priobalnim i otočnim naseljima. Istodobno su i mnoga privatna kućanstva osposobila veći broj soba za ljetni priljev turista.

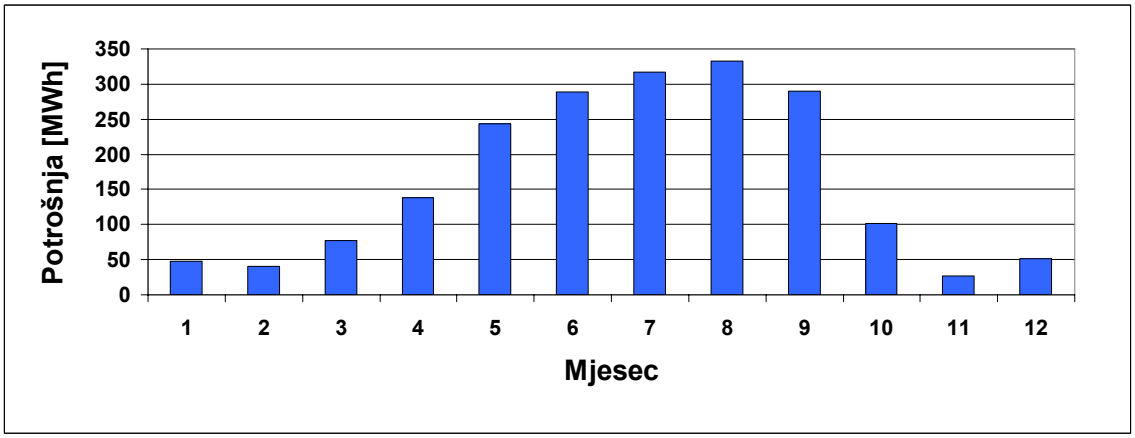


Slika 16. Kretanje broja noćenja(u milijunima noćenja) u periodu 1998 - 2005
izvor. Turistička zajednica grada Malog Lošinja

Ukupan broj postelja grada Malog Lošinja smanjio se za 6753 jedinica u 2001. u odnosu na 1987. a to se dogodilo zbog prenamjene određenih sadržaja i poboljšanja kvalitete smještaja. Ostvaren broj noćenja (prema uplaćenoj boravišnoj taksi) izjednačen je u 2001. s predratnim razdobljem na području grada Malog Lošinja.



Slika 17. Broj noćenja i dolazaka (u tisućama) po mjesecima za 2005. godinu
izvor. Turistička zajednica grada Malog Lošinja



Slika 18. Potrošnja električne energije [MWh] tijekom godine za Jadranka hotele
Izvor. HEP - Elektroprimorje Rijeka

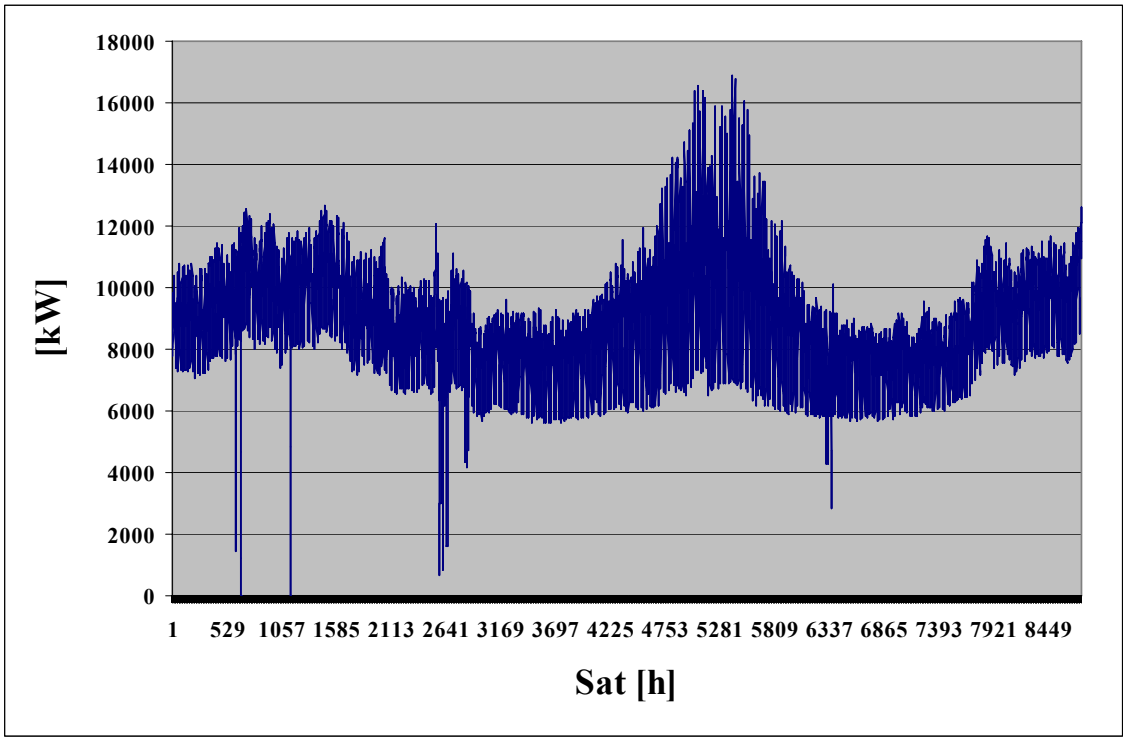
Zanimljiv podatak iz prostornog plana grada Malog Lošinja [23], je da od ukupnog broja stanova (tablica 5.), broj stanova koji se koriste povremeno iznosi nešto više od polovice, odnosno 3560 ili 51 %. Od toga se za odmor koristi 2936 stanova, što iznosi 42% od ukupnog broja stanova ili 82% od ukupnog broja stanova koji se koriste povremeno. Upravo taj podatak nam ukazuje na postojeći trend. Grade se ili apartmani isključivo za turističku djelatnost, ili se već postojeći objekti prodaju i to u pravilu strancima. Oni se onda njima koriste povremeno i to u pravilu tjedan ili dva za vrijeme trajanja turističke sezone, ili se i sami onda bave turizmom.

Tablica 5. Kretanje broja stanova i domaćinstava u razdoblju 1981. - 2001

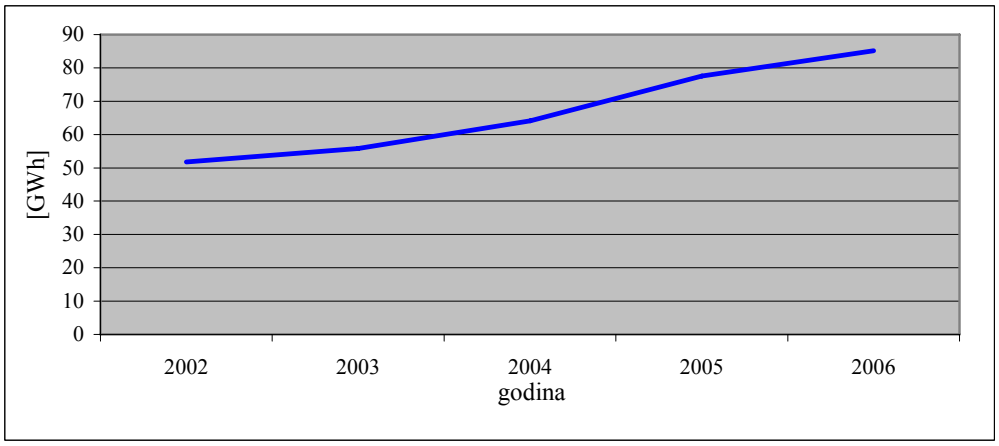
	STANOVI			**DOMAĆINSTVA**		
	Popis 1981.	**Popis 1991.**	**Popis 2001.**	**Popis 2001.**	**Popis 1991.**	**Popis 2001.**
	broj	broj	broj	broj	broj	broj
Grad Mali Lošinj	4784	6476	7007	2752	3245	2970

izvor. Prostorni plan grada malog Lošinja

Lošinj i njegovi otoci napajaju se električnom energijom iz TS 110/35 KV Krk, vod je izveden u tri dionice kao nadzemni (područjem otoka Krka, Cresa i Lošinja) i u dvije dionice s podmorskim kabelom (između otoka Krka i Cresa i Cresa i Lošinja). Distribucija na 10 KV naponski nivo obavlja se preko 3 TS 35/10 LV (Osor, Hrasta, Lošinj) [23].



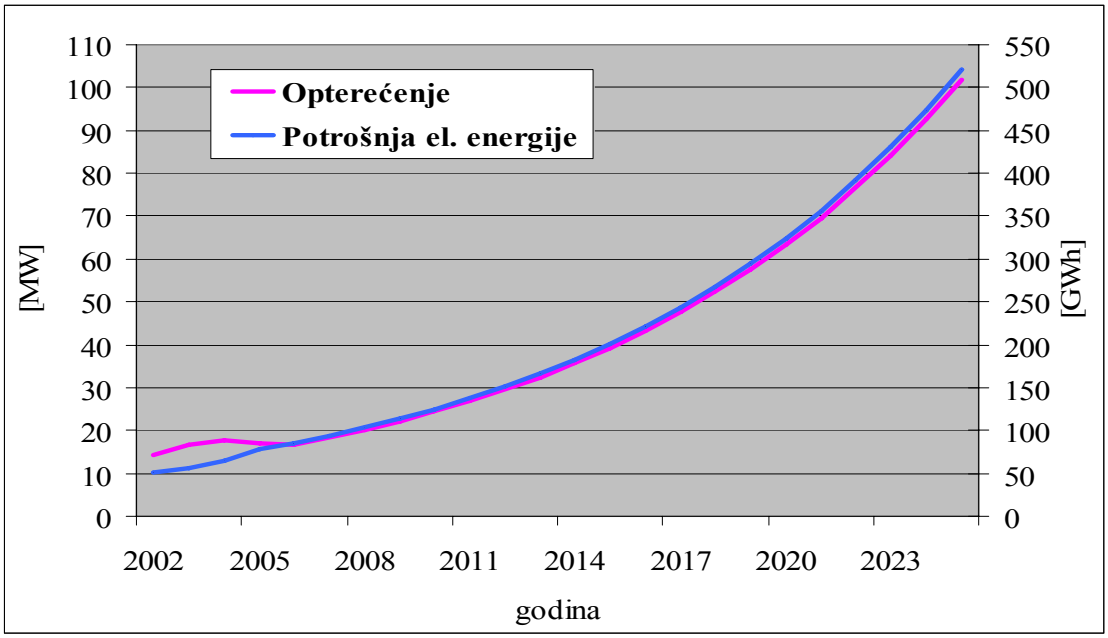
Slika 19. Satna potrošnja električne energije za 2005 godinu
Izvor. HEP - Elektroprimorje Rijeka



Slika 20. Rast potrošnje električne energije u razdoblju 2002.- 2006. godina
Izvor. HEP - Elektroprimorje Rijeka

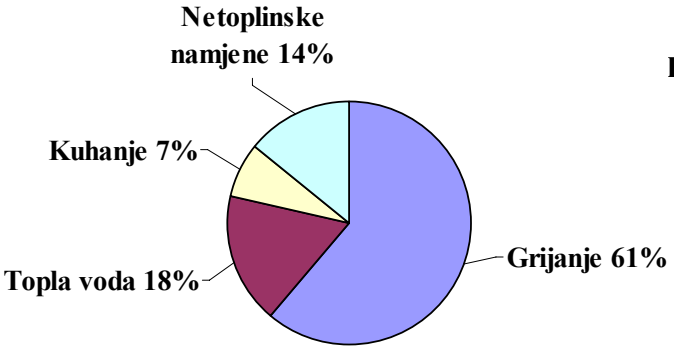
Potrošnja električne energije (Electricity) ocijenjena je velikom (High) i decentraliziranom (Dispersed) zbog brojnih manjih mjesta na otoku. Podaci o opterećenju elektroenergetskog sustava dobiveni su od tvrtke koja se bavi distribucijom, odnosno od HEP-a. Podaci su dobiveni za razdoblje od 2002. do 2006. godine (slika 20. prikazuje rast potrošnje u tom razdoblju). Na slici 21. dan je prikaz kretanja potrošnje i opterećenja do 2025. u koliko bi se

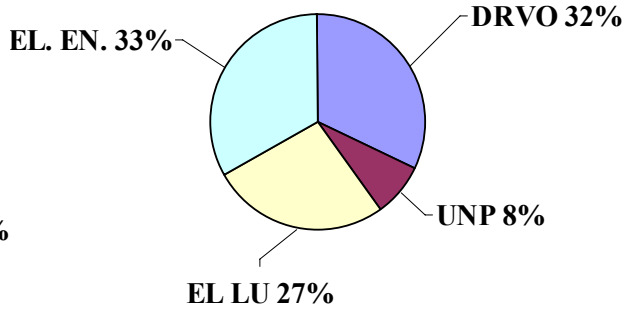
stopa rasta nastavila jednakim intenzitetom kao u razdoblju između 2002. – 2006. godine. Upravo je i samim diplomskim zadatkom zadan taj rast, odnosno uzet je godišnji rast potrošnje električne energije od 10% do 2025. godine. Da bi se odredio realan rast trebalo bi uzeti u obzir više faktora. Neki od faktora su: povećanje broja stanovnika, izgradnja novih turističkih kapaciteta, instalacija novih klima uređaja, prelazak sa „grijanja na drva“ na druge oblike grijanja itd.



Slika 21. Kretanje opterećenja i potrošnje u periodu 2002. – 20025. godina

Potražnja za toplinom je također decentralizirana po kućanstvima i ona je srednja (Medium). Najveća potrošnja finalne energije u kućanstvima troši se za grijanje (61%), zatim za pripremu tople vode (18%), netoplinske namjene (14%) i kuhanje (7%). Za grijanje se najviše koriste ekstra lako lož ulje (47%) i drvo (41%), zatim el. energija (7%) i UNP (5%). Uzevši u obzir ukupnu potrošnju finalne energije za sve namjene u kućanstvima, najveća je zastupljenost el. energije (33%), ekstra lakog lož ulja (32%), drva (27%), a zatim UNP-a (8%) [23]. Rashladne potrebe su male i raspršene, ali kroz sljedećih nekoliko godina one će sigurno rasti. Razlog tome će biti sve veća instalacija klima uređaja koja je započela zadnjih par godina. Hoteli se renoviraju i podiže se broj zvjezdica, što znači da hoteli moraju biti klimatizirani. A taj primjer slijede i iznajmljivači apartmana.





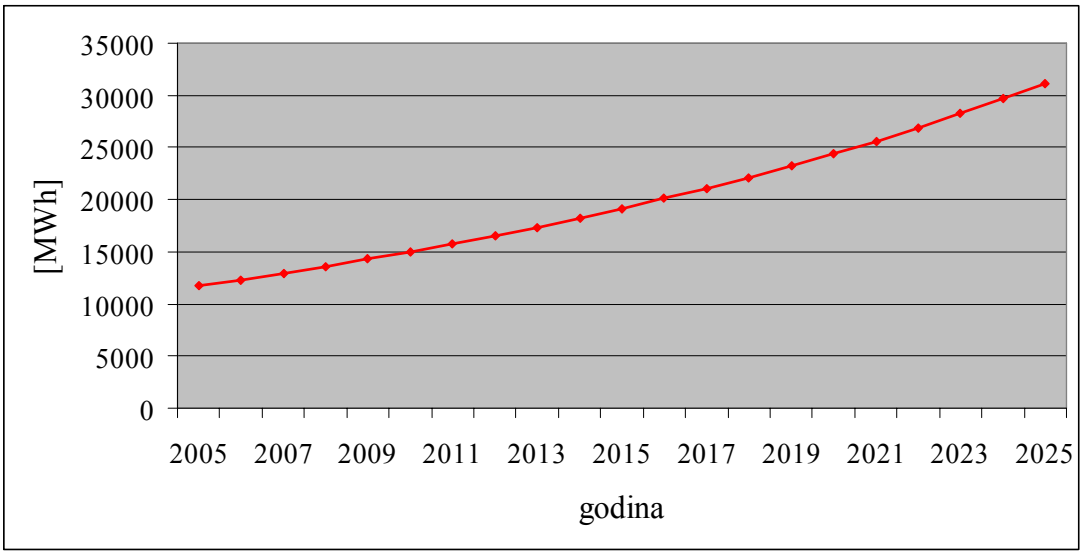
Slika 22. i Slika 23. Potrošnja finalne energije prema namjeni i vrsti energenta [%] na otoku Lošinju (izvor. anketa iz 1998. godine u okviru projekta "Studija i idejni projekt opskrbe plinom Primorsko-goranske županije")

Potrošnja goriva na otoku je srednja (Medium). Na otoku postoje 4 benzinske postaje i sve imaju mogućnost opskrbe brodova.

Tablica 6. Broj i vrsta vozila na otoku Lošinju

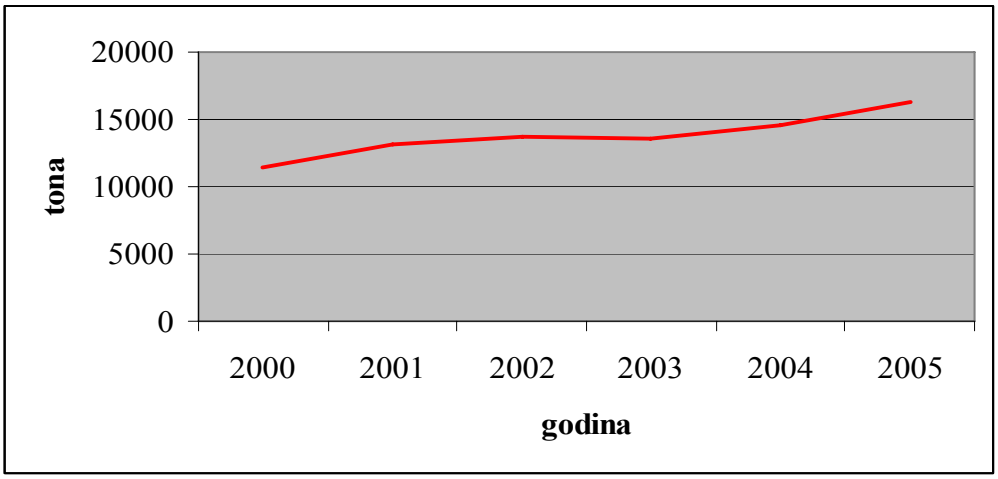
Vrsta vozila	**Broj vozila**
mopedi	406
motocikli	114
osob. automobili	2168
autobusi	2
teretni	219
kombi	31
radni stroj	7
radno vozilo	5
traktor	5
priključno vozilo	9
lake prikolice	13

izvor. stanica za tehnički pregled "AUTO RIO", Mali Lošinj



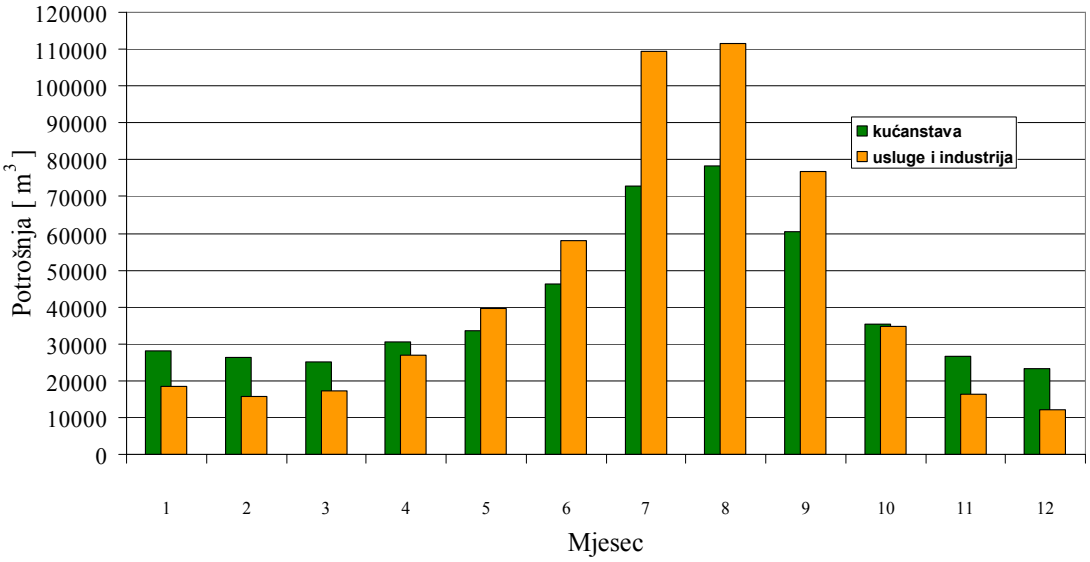
Slika 24. Pretpostavljeni godišnji rast (od 5 %) potrošnje energije potrebne za grijanje PTV-a u periodu 2006.- 2025. godina

Velike količine otpada nastaju u dva ljetna mjeseca; srpnju i kolovozu. U ostalim su mjesecima količine otpada znatno manje, dok su u zimskim mjesecima minimalne. Za 2005. godinu količina komunalnog otpada iznosila je 16320 tona, a u to nije uključeno još 5000 tona drvnog otpada koji se spaljuje. Od studenog 2005. krenulo se sa sakupljanjem otpadnog ulja i u periodu studeni 2005. – studeni 2006. sakupljeno je 25895 litara ulja. Slika 25. prikazuje kretanje ukupne količine komunalnog otpada u razdoblju 2000. – 2005. godina, a prosječna stopa rasta je 6.7 %. U planu je sanacija postojećih odlagališta te organiziranje sabirnih centara, odakle bi se otpad onda vozio u centralno odlagalište Primorsko-goranske županije.



Slika 25. Kretanje komunalnog otpada u razdoblju 2000 - 2005
(Izvor. Vodovod i Čistoća, Mali Lošinj)

Potrebe za vodom su srednje (Medium), mjesečna potrošnja dana je slici 26. Lošinj nema problema sa opskrbom pitke vode. Voda se crpi iz Vranskog jezera, koje se nalazi na otoku Cresu (dužine 5,5 km, najveće širine 1,5 km) i najveće dubine 75 m što daje zapreminu od cca 220 mil.m^3) [23]. Kanalizacijski sustav je u fazi razvoja. Postoji na području Malog i Velog Lošinja te u Nerezinama, dok ostala manja mjesta još uvijek nemaju kanalizacijski sustav. Otpadne vode se mehanički usitnjavaju prije ispusta u more. Za sada postoji samo jedno eksperimentalno kemijsko tretiranje otpadnih voda na otoku Susku.



Slika 26. Mjesečna potrošnja vode u m^3 na otoku Lošinju za 2005. godinu
izvor. Vodovod i čistoća Cres

Tablica 7. Mapiranje potreba otoka Lošinja

Needs (potreba)	Level (nivo)	Geographic distribution (geografska distribucija)	Code (kod)
Electricity	High.	Dispersed	**ElectHD**
Heat	Medium	Dispersed	**HeatMD**
Cold	Low	Dispersed	**ColdLD**
Transport fuel	Medium	Long	**TranML**
Water	Med.	Dispersed	**WaterMD**
Waste treatment	Low	Dispersed	**WasteLD**
Wastewater treatment	Low	Dispersed	**WWTLC**

Najobilatiji obnovljivi resursi na otoku Lošinju su sunčevo zračenje i vjetar. Rezultati mapiranja resursa su prikazani u tablici 8.

Tablica 8. Mapiranje resursa

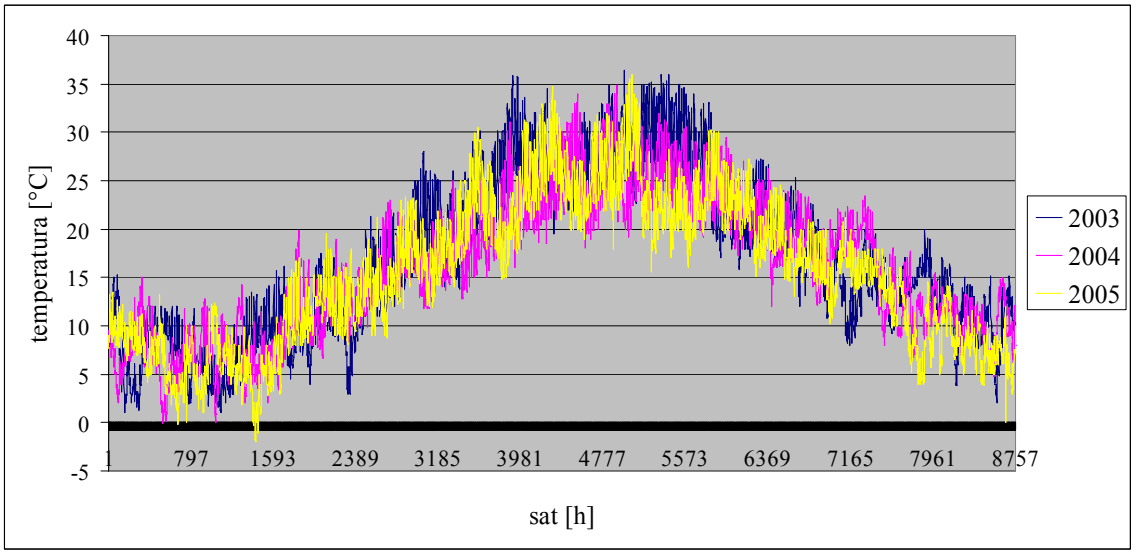
Resource (resursi)	**Level** (nivo)	**Code** (kod)
Local primary energy (lokalni primarni energenti)		
Wind	Low	**WindL**
Solar	Medium	**SolarM**
Hydro (height)	Medium	**HydroM**
Biomass	Low	**BiomL**
Energy import infrastructure (infrastruktura za uvoz energenata)		
Grid connection	Strong	**GridS**
Natural gas pipeline	No	**NGplN**
Water (voda)		
Precipitation	Medium	**H2OPM**
Ground water	Low	**H2OGL**
Water pipeline	Yes	**AquaY**
Sea water	Yes	**H2OSY**

Prostor grada Malog Lošinja ima blagu sredozemnu klimu s prosječno 200 vedrih i samo oko 60 oblačnih dana i sa 2600 sunčanih sati godišnje, pa spada u red najsunčanijih područja u Europi. Osnovna obilježja klime ovog područja čine suha i vruća ljeta te blage i kišovite zime. Prosječne godišnje padaline iznose 869 mm (najveća u listopadu 122 mm i studenom 114 mm). Prosječna godišnja temperatura zraka je 15,3°C a površinska temperatura mora oko 16°C (godišnji minimum oko 10°C i godišnji maksimum oko 25°C) [23]. Ovi podaci dobiveni su na osnovu mjerenja na hidrometeorološkoj postaji u Malom Lošinju kroz period od 25 godina. Na slici 27. te tablici 9. i 10. dane su prosječne vrijednosti na osnovu podataka dobivenih od Državnog Hidrometeorološkog zavoda za period od 2003. do 2005. godine.

Tablica 9. Prosječna Temperatura zraka na Lošinju u periodu 2003. – 2005. godina

Temperatura zraka u ℃	Godišnje
Srednja sezonska temperatura zraka	16,1
Srednja maksimalna temperatura zraka	19,3
Srednja minimalna temperatura zraka	13,5

izvor. Državni Hidrometeorološki Zavod



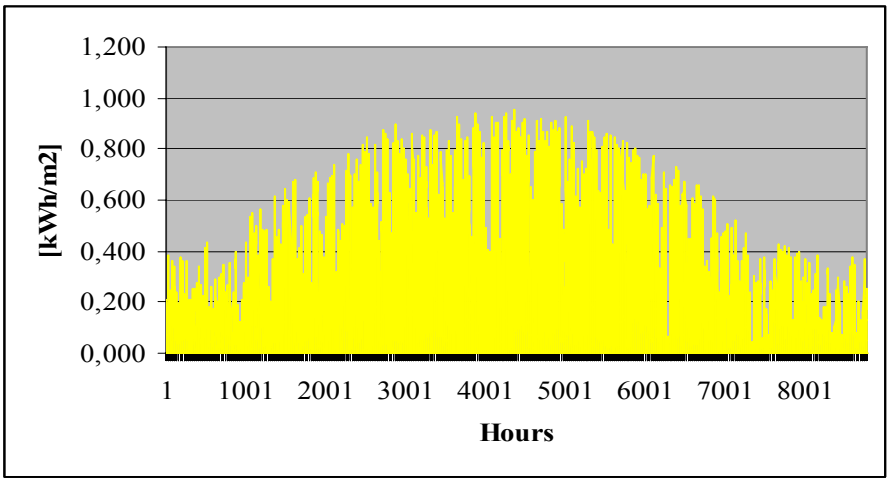
Slika 27. Satne vrijednosti temperature zraka za 2003., 2004., i 2005. godinu
(izvor. Državni Hidrometeorološki Zavod– meteorološka postaja Mali Lošinj)

Tablica 10. Prosječno trajanje sijanja Sunca na Lošinju u periodu 2003. – 2005. godina

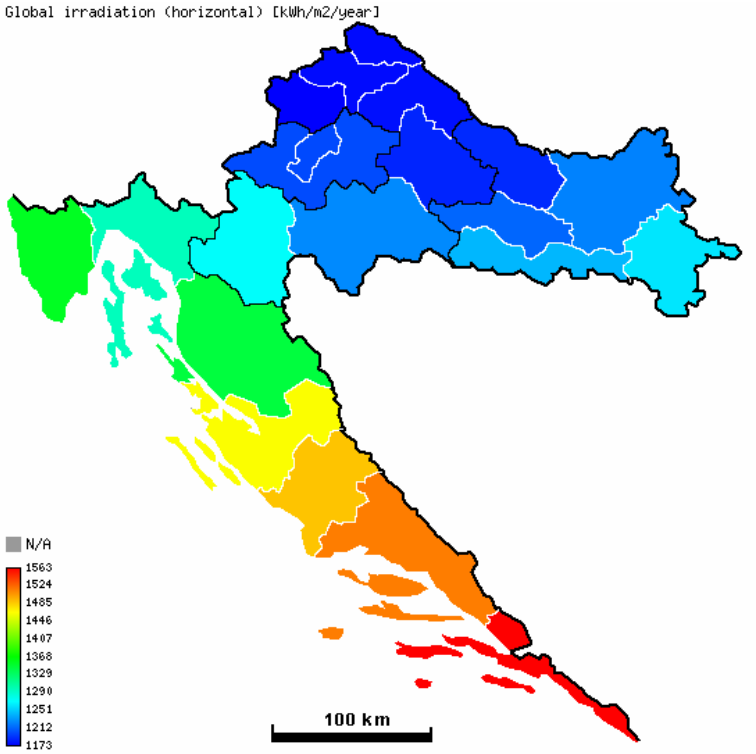
TRAJANJE SIJANJA SUNCA	Godišnje
Srednji sezonski i godišnji broj sati	2751

izvor. Državni Hidrometeorološki Zavod

Na hidrometeorološkoj stanici u Malom Lošinju još uvijek nema uređaja za mjerenje satne vrijednosti sunčevog zračenja na horizontalnu površinu. Podaci za sunčevo zračenje dobiveni su pomoću Meteonorma (slika 28.).

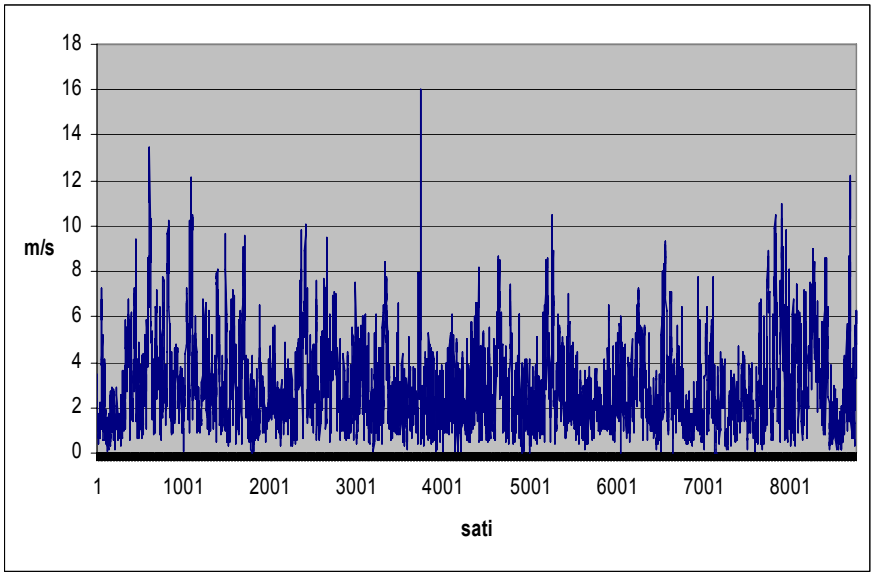


Slika 28. Prosječno satno sunčevo zračenje na horizontalnu površinu

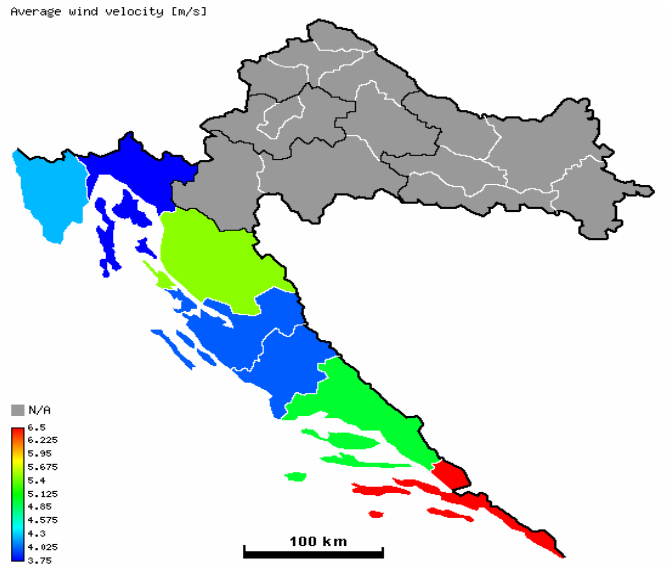


Slika 29. Globalno sunčevo zračenje na horizontalnu površinu za područje Hrvatske [25]

Najveću godišnju prosječnu brzinu od gotovo 5 m/s postižu vjetrovi koji pušu s jugoistoka (SE, jugo). Istovremeno, to je i smjer iz kojeg vjetar najčešće puše (u oko 16% slučajeva). Drugi po brzini i učestalosti je sjeveroistočni smjer (NNE, bura) s prosječnom godišnjom brzinom od 4,7 m/s, u oko 14% slučajeva [26]. Ljeti je najčešći maestral koji puše sa zapada.



Slika 30. Prosječna satna brzina vjetra na 10m visine
(izvor. HDMZ – meteorološka postaja Mali Lošinj)

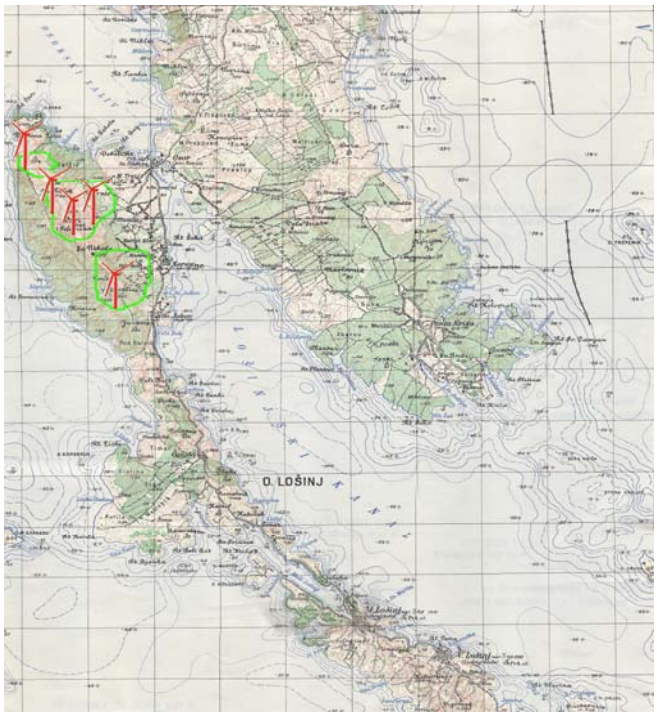


Slika 31. Prosječna brzina vjetra za područje Hrvatske [25]

Tablica 11. Broj dana s jakim i olujnim vjetrom [23]

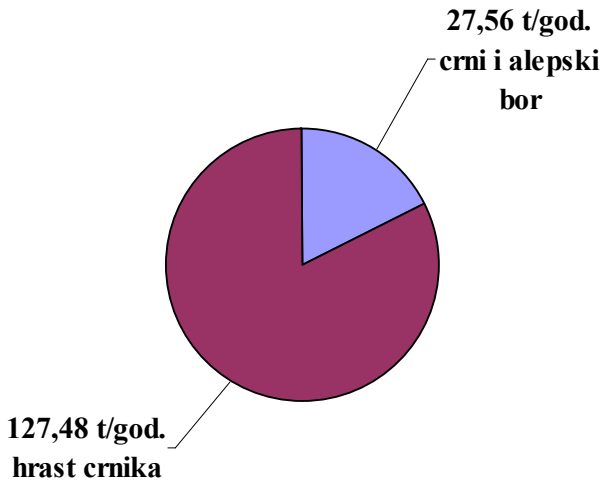
VJETAR	Proljeće	Ljeto	Jesen	Zima	Godišnje
Srednji broj dana s jakim vjetrom	3,5	0,8	2,3	6,9	13,5
Srednji broj dana s olujnim vjetrom	0,2	0,2	0,1	0,6	1,1

- jak vjetra ima srednju brzinu od 10,8 m/s do 17,1 m/s
- olujni vjetar puše brzinom od 17,2 m/s i više



Slika 32. Topografska karta s potencijalno pogodnim lokacijama za vjetroturbine

Zbog nedovoljne količine biomase termoelektrane na biomasu nisu se razmatrale. Najveći dio otoka zauzima poljoprivredno i šumsko zemljište. Od toga 95 % čine pašnjaci koji omogućuju razvoj stočarstva, posebno ovčarstva. Šumske površine su obrasle šumom mediteranskog tipa koja više ima estetsko-biološki nego proizvodni karakter. To su uglavnom šume hrasta crnike te crnog i alepskog bora. Slika 33. prikazuje godišnju bilancu sječa, hrast se koristi kao drvo za ogrjev dok alepski i crni bor nemaju ekonomsku iskoristivost te se ne izvlače iz šume. Veći kompleksi šuma smješteni su u području Osora i Punta Križa na Cresu i naročito na području Malog i Velog Lošinja. Ostali dio prostora čini neplodno zemljište koje se sastoji od kamenja i makije. Od toga je 19.83 % državno šumsko zemljište, a ostalih 80.17 % je u privatnom vlasništvu.



Slika 33. Bilanca sječa
(Izvor. Uprava šuma podružnica Buzet (ŠUMARIJA CRES - LOŠINJ))

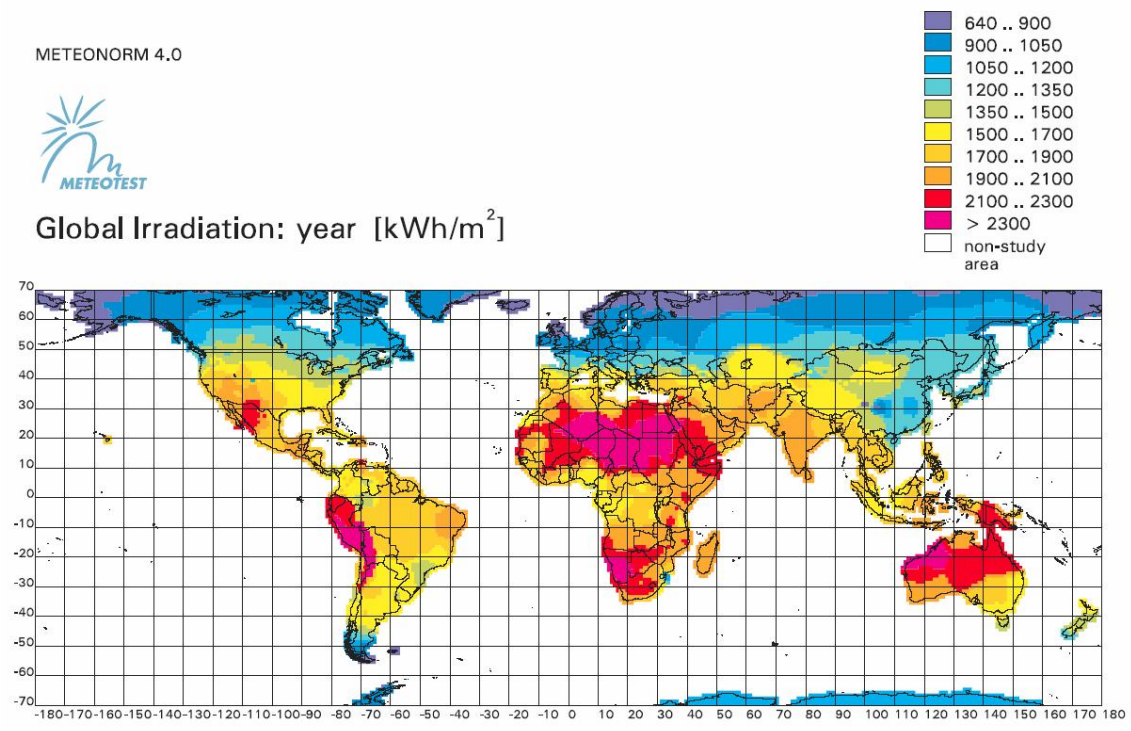
Tablica 12. Potencijalni nosioci energije(energetski vektori)

Potential energy carriers (potencijalni nosioci energije)	**Condition** (uvjet)	**Code** (kod)
Electricity	IF ElectC	**ECEl**
Hydrogen	IF Tran	**ECH2**

Tablica 13. daje prikaz mogućih tehnologija koje bi se mogle koristiti na otoku Lošinju. Kod izbora vjetroturbina potrebno je dobro proučiti moguće lokacije da bi ova tehnologija bila isplativa. Ovo je vidljivo iz podatka da je prosječna godišnja brzina vjetra na otoku Lošinju 10 m iznad zemlje iznosi 3 m/s (mjereno na meteorološkoj postaji Mali Lošinj). Potencijalna lokacija za gradnju vjetroturbina bilo bi brdo Osoršćica (vrh Sv. Nikola 557 m) s prosječnom

godišnjom brzinom vjetra od 4.6 m/s [8]. Prema tablici 13. izbor PV panela je opravdan pod uvjetom da je potreba za električnom energijom mala (low) ili srednja (medium), no u slučaju otoka Lošinja ona je velika (high). Ovaj podatak kao i trenutna cijena te iskoristivost predstavljaju ograničavajući faktor za masovniju primjenu ove tehnologije. Ipak kod modeliranja scenarija uzeti su u obzir i PV paneli iz slijedećih razloga:

1. Nedostatak vjetra, posebno u ljetnim mjesecima kad je potrošnja električne energije na vrhuncu. Sunčeva energija je po svojoj izdašnosti i ravnomjernoj distribuciji u prirodi ispred vjetra, geotermalne energije, energija mora (plima, oseka, morske struje), hidropotencijala [27].
2. Ova tehnologija je u zamahu i očekuje se daljnje pojeftinjenje PV panela (monokristalni silicij je skup materijal), istraživanja su usmjerena na razvoj tehnologije koja bi omogućila izradu PV panela od izrazito tankog sloja silicija i povećanje učinkovitosti.
3. Rezultati Njemačke i Japana u primjeni ove tehnologije. Slika 34. daje prikaz svjetskog PV potencijala iz čega je vidljivo da Hrvatska ima puno veći PV potencijal u odnosu na Japan i Njemačku.



Slika 34. PV potencijal (izvor Meteonorm [28]).

U uvjetima koje Hrvatska ima neshvatljivo je takva mala zastupljenost solarnih termalnih kolektora. Na otoku Lošinju gotovo ih i nema, a svi preduvjeti su ispunjeni. Prema provedenom istraživanju od strane Hrvoje Požara (SUNEN) ako bi 0.025% obalnog teritorija koji nije koristan za turizam ili neku drugu svrhu prekrili solarnim termalnim kolektorima mogli bi zadovoljiti 60% do 80% potreba za PTV-om u obalnom i priobalnom djelu Hrvatske [1]. Isto tako od ožujka do studenog moguća je 100% opskrba potrošnom toplom vodom iz solarnih termalnih kolektora [29].

Tablica 13. Potencijalne tehnologije

Technology (tehnologija)	**Condition** (uvjet)	**Code** (kod)
Electricity conversion system (sustavi za generiranje električne energije)		
WECS	IF (ElectM OR ElectH) AND (WindM OR WindH)	**WECS**
SECS-PV	IF (ElectL OR ElectM) AND (SolarM OR SolarH)	**PV**
FC	IF (Elect) AND (H2Fuel)	**FC**
Heating system (toplinski sustavi)		
Solar collectors	IF (Heat) AND (SolarM OR SolarH)	**STCo**
Fuel (goriva za transport)		
Hydrogen	IF (Tran) AND (ECH2)	**H2Fuel**

Tablica 14. Potencijalne tehnologije za skladištenje

Storage technology (tehnologija skladištenja)	**Condition**	**Code**
Electricity storage system (sustavi za spremanje električne energije)		
Electrolyser + Hydrogen	IF (WECS OR SECS OR PV) AND NOT HECS	**ELYH2**
Fuel (gorivo)		
Hydrogen	IF H2Fuel	**H2stor**
Water, Waste and Wastewater (voda, otpad i otpadne vode)		
Water	IF Water	**WaterS**
Waste fill	IF Waste	**WasteF**
Wastewater tanks	IF WWT	**WWstor**

Zbog decentraliziranosti sistema nije bilo velikih mogućnosti za integraciju tokova, a jedina značajnija integracija bilo bi povezivanje proizvodnje električne energije s proizvodnjom vodika. Mogućnosti integracije ipak postoje u manjim hibridnim jedinicama koje bi bile instalirane na mjestima lokalne potrošnje (hoteli, marine, kampovi, udaljena sela, itd.)

Tablica 15. Integracija tokova

Integration technology (tehnologija za integraciju)	**Condition** (uvjet)	**Code** (kod)
Combined power and hydrogen production	IF (WECS OR PV) AND ECH2	**CPH2**
Combined heat, power, cold and hydrogen production	IF (SECS OR BECS OR GECS) AND ECH2	**4G-HPCH2**

4. PRIMJENA H_2RES MODELA NA OTOK LOŠINJ

Nakon provedene RenewIslands analize određene su tehnologije i predloženi scenariji za otok Lošinj (opis scenarija dan je u poglavlju 5. str. 56). Da bi proveli simulaciju scenarija, odnosno različitih tehnologija treba unijeti podatke u H2RES model. Podaci o hidroenergiji, biomasi, potrošnji pitke vode, Diesel agregatima te odgodivom opterećenju EES stavljeni su na nultu vrijednost jer nisu razmatrani u scenarijima. Svi podaci i njihovi izvori dani su u prethodnom poglavlju, odnosno u primjeni RenewIslands metodologije na otok Lošinj. U ovom poglavlju dat će se kratki opis načina na koji su se podaci unijeli u H2RES model.

4.1 Podaci za vjetar

Brzina vjetra v_{10} koja se unijela u model prilagođava se na visinu kućišta turbine z pomoću jednadžbe (1), a pretpostavljeni visinski konverzijski koeficijent za sve scenarije u diplomskom je $\alpha = 0.14$. gdje eksponent α ovisi o hrapavosti površine. Za glatku kopnenu površinu α je oko 0.14, dok je, primjerice, za mirno more niži, oko 0.1 [26].

4.2 Podaci o sunčevom zračenju

Da bi H_2RES model mogao izračunati električni potencijal PV panela na zakošenu površinu prema jednadžbi (2) potrebno je uvrstiti pretvorbeni faktor χ_m te ukupnu učinkovitost PV panela koja se izračunava po formuli (3). Učinkovitost PV modula za sve scenarije uzeta je $\mu_{PV,\mathrm{mod}} = 0.15$, učinkovitost DC/AC konvertera $\mu_{PV,con} = 0.95$ te koeficijent gubitaka $\mu_{PV,los} = 0.94$.

Kod računanja toplinskog potencijala solarnih kolektora prema jednadžbi (9) potrebno je uvrstiti ukupnu učinkovitost solarnih kolektora koja se računa po jednadžbi (10) Toplinski gubitak $k_{kolektor} = 0.45$, a faktor pretvorbe sunčevog zračenja $\kappa_{kolektor} = 0.8$. Ukupna površina uzima se ovisno o potrebama scenarija.

4.3 Podaci o ograničenjima na udio električne energije iz obnovljivih izvora

Podaci o ograničenju na udio električne energije iz intermitentnih izvora (vjetar, solarna energija) koja u jednom satu smije ući u EES otoka postavljali su se zavisno o uvjetima scenarija, a može iznositi od 0 do 100%.

Podaci o ograničenju na udio električne energije iz obnovljivih izvora energije koja u jednom satu smije ući u EES otoka u svim scenarijima je postavljena na 100%. Dakle odlučujući faktor koji je određivao koliko će energije iz obnovljivih izvora smjeti biti uzeto u sustav bio je onaj o ograničavanju intermitentnih izvora, a prema diplomskom zadatku iznosi ili 30%, ili 100% ovisno od scenarija.

4.4 Podaci o opterećenju

Kako je za baznu godinu uzeta 2005. u H_2RES model unesene su satne vrijednosti opterećenja za 2005. godinu. Godišnji rast opterećenja za svaku godinu do 2025. uzet je 10% prema diplomskom zadatku.

Način na koji se izračunala potrošnja vodika za transport dan je u poglavlju 5.2.4 H_2VjetarSunceTransport100%. Godišnji rast opterećenja za svaku godinu do 2025. uzet je 7% prema diplomskom zadatku. Vrijeme za koje mora biti osigurana dobava $t_{H_2\,\mathrm{sec}}$ u svim scenarijima je uvršteno 7 dana, odnosno 168 sati.

4.5 Podaci o spremanju

Za računate scenarije podaci o spremanju uključuju podatke o elektrolizeru, gorivoj ćeliji te spremniku za vodik.

Iskoristivost elektrolizera u svim scenarijima je bila pretpostavljena na $\mu_{el} = 0.6$ što je ujedno uključivalo i kompresor. Minimalno vrijeme paljenja elektrolizera je 30 minuta. Prilikom energetskog bilanciranja radilo se sa smo jednim blokom i njegova snaga se povećavala ili smanjivala ovisno o scenariju. Podaci o broju blokova odnosno snazi jednog bloka nisu toliko bitni kada se radi samo energetsko bilanciranje jer nam je s te strane svejedno da li

imamo 1 blok od 50 kW ili 2 bloka od 25 kW, no kod ekonomske analize ono je bitno jer cijena bloka ovisi o njegovoj snazi.

Goriva ćelija u svim scenarijima ima iskoristivost $\mu_{FC} = 0.5$ dok je minimalno vrijeme paljenja stavljeno na 30 min. Kao i kod elektrolizera radilo se samo s jednim blokom čija se snaga po potrebi povećavala ili smanjivala.

Volumen spremnika za vodik varirao se prema potrebama scenarija, a za donju ogrjevnu vrijednost vodika se uzelo $H_d = 3$ kWh/m_n^3 (kilowatsati po normnom kubnom metru).

4.6 Podaci o mreži

Najznačajniji elektroenergetski objekt na području otoka Lošinja je trafostanica 110/35 kV Lošinj. Trafostanica je izvedena s vanjskim 110 kV postrojenjem, s dva transformatora 110/35 kV snage 2x20 MVA i zgradom u kojoj je smješteno 35 kV postrojenje, komandno-upravljački dio i pomoćna postrojenja trafostanice. Napajanje trafostanice izvedeno je 110 kV vodom između otoka Krka i otoka Lošinja, ukupne dužine cca 66 km. Nadzemne dionice izvedene su na čelično rešetkastim stupovima s vodičima Al-Če 3x150 mm^2, a podmorske s trožilnim kabelom Cu 3x300 mm^2 i Al 3x300 mm^2 između Krka i Cresa i četiri jednožilna kabela (jedna žila je rezerva) presjeka Al 1x300 mm^2 između Cresa i Lošinja.

Da bi se odredilo opterećenje koje mogu podnijeti kabeli korištena je jednadžba:

$$P_{k,\max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{k,\max} \cdot \cos\varphi \text{ [W]} \qquad (18)$$

gdje je:

U - napon kabela [kV]

$I_{k,\max}$ - maksimalna jakost električne struje koju mogu podnijeti kabeli [A]

$\cos\varphi$ - faktor električne snage

Podaci o podmorskim kabelima dobiveni su od ABB-a [30], odnosno koristili su se podaci za njihov XLPE tip kabela. Podaci za trožilni bakreni i aluminijski kabel presjeka 300 i 150 mm^2

dani su u tablici 16. Za nadzemne dionice koristili su se također podaci ABB-a za XLPE tip nadzemnih kablova [31], a za aluminijski trožilni kabel presjeka 150 mm^2 maksimalna jakost struje iznosi 300 A.

Tablica 16. Maksimalna jakost struje koju mogu podnijeti podmorski kabeli [30]

Površina poprečnog presjeka [mm^2]	Bakar (Cu) A	Aluminij (Al) A
3x150	375	300
3x300	530	430
1x300	530	415

Na osnovu podataka o maksimalnoj jakosti struje i za pretpostavljeni faktor snage $\cos\varphi = 0.9$ prema jednadžbi (18) izračunata su maksimalna opterećenja za pojedine kabele, a rezultati su dani u tablici 17.

Tablica 17. Maksimalna opterećenja kablova

Kabel (materijal/presjek [mm^2])	$P_{k,\max}$ [W]
nadzemni Al-Če 3x150	57150
podmorski Cu 3x300	100966
podmorski Al 3x300	81915
podmorski Al 1x300	79058

5. REZULTATI

5.1 Scenariji za otok Lošinj

Scenariji su dobiveni na temelju RenewIslands metodologije. U scenarijima je kao bazna godina uzeta 2005., a razdoblje koje se modeliralo je od 2010. do 2025. godine. Razlozi zbog kojih neke tehnologije nisu uzete u obzir nalazi se u poglavlju 2. RenewIslands metodologija str. 15.

Uzeto je 10% konstantno godišnje povećanje električne energije u periodu od 2010. do 2025. godine. To povećanje dobiveno je na temelju podataka o potrošnji električne energije u razdoblju od 2002. do 2006. godine (podaci za to razdoblje dobiveni su od strane HEP-a). Pri računanju potrošnje potrošne tople vode uzeto je 5% godišnje povećanje, a 7% godišnje povećanje uzeto je pri računanju potrošnje vodika za prometne energetske potrebe.

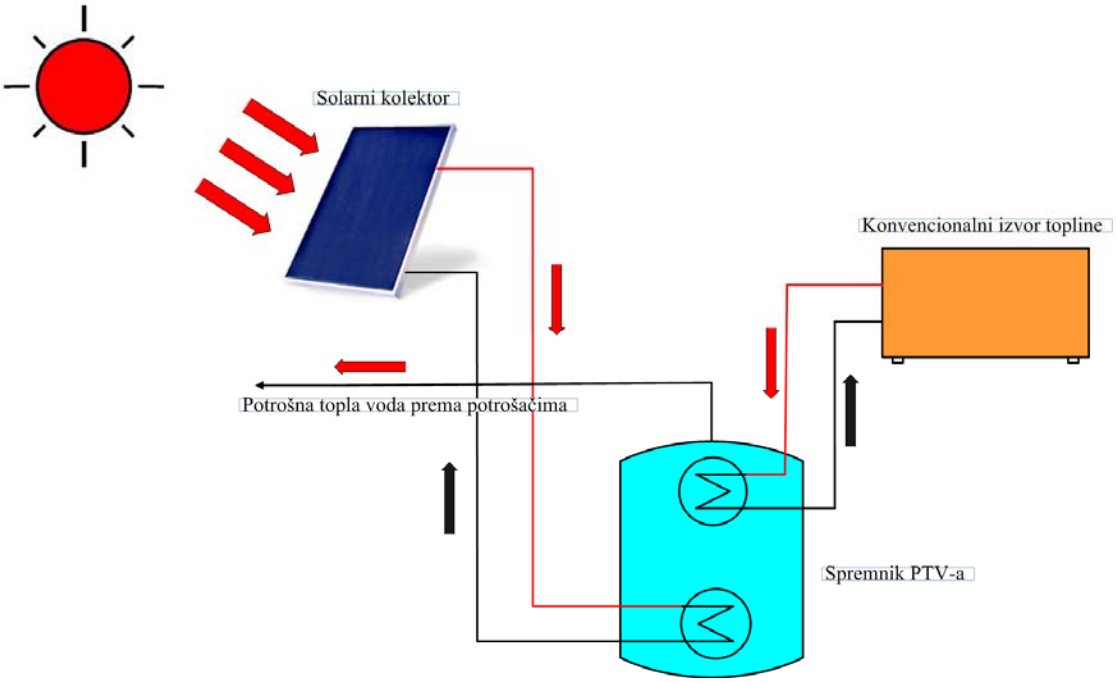
5.2 Opis scenarija

5.2.1 *Business as usual* scenarij

Nema nikakvih zahvata na elektroenergetskom sustavu, odnosno i dalje se napajanje vrši preko mreže koja je povezana s kopnom.

5.2.2 PTV (potrošna topla voda) scenarij

Ovim scenarijem predviđeno je zadovoljavanje potreba za potrošnom toplom vodom pomoću solarnih kolektora. Postotak PTV-a (potrošne tople vode) koji želimo zadovoljiti sa solarnim kolektorima je 20% 2010. godine te 20% povećanje svakih 5 godina. Takvim povećanjem 2025. godine osigurali bi 80% potreba za PTV-om iz obnovljivih izvora, odnosno solarnih kolektora. Potrošnja električne energije ponaša se po *business as usual* scenariju. Slika 35. daje prikaz modela sustava za zagrijavanje PTV-a.



Slika 35. model po kojem radi PTV scenarij

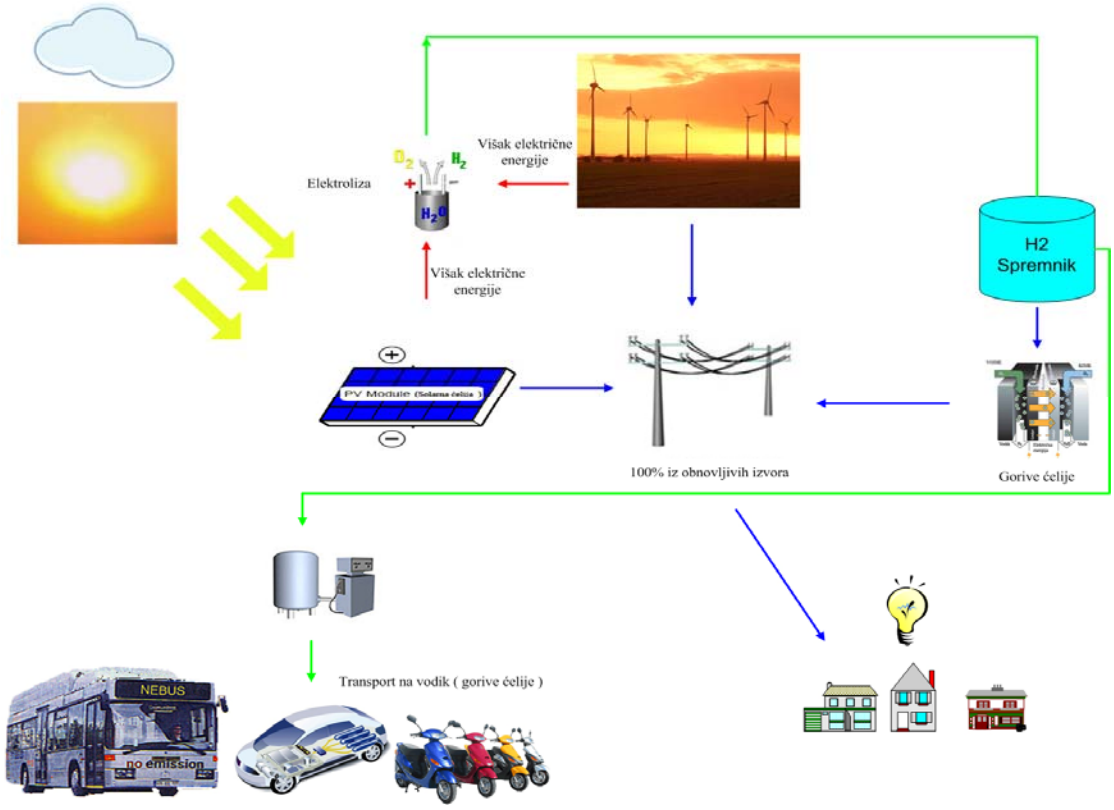
5.2.3 VjetarSunce 30% scenarij

Na otoku smo instalirali vjetroturbine i PV panele , a ograničenje 30% znaci da oni zajedno u jednom satu mogu zadovoljiti najviše 30% potreba za električnom energijom u elektroenergetskom sustavu. Ograničenje 30% uzeto je 30% od opterećenja.

5.2.4 H_2VjetarSunceTransport 100% scenarij

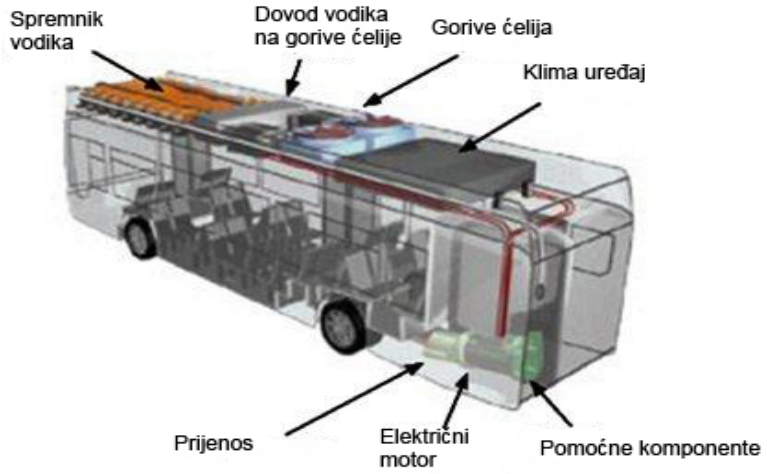
Uz instalirane vjetroturbine, PV panele sada imamo i gorive ćelije, elektrolizer i vodikov spremnik za spremanje viška generirane električne energije. Vodik nam preko gorivih ćelija služi za proizvodnju električne energije, ali i za transport koji se zasniva na vodikovoj tehnologiji. Da bi osigurali „100% obnovljiv otok“ kapacitet gorivih ćelija mora biti jednak maksimumu satnog godišnjeg električnog opterećenja. Transport bi se sastojao od 2 autobusa (slika 36.), dva taksija i nekoliko skutera. Kako Cres i Lošinj čine jednu cjelinu, turisti u pravilu za vrijeme svog boravka putuju s otoka Lošinja na Cres i obratno u potrazi za mnogobrojnim uvalama, obilasku malih sela itd. Upravo bi iz tog razloga gore navedeni broj vozila koji se zasniva na vodikovoj tehnologiji bio nedovoljan da se pokrije sav transport na otoku, već bi imao za cilj zamijeniti postojeće autobuse koji vode goste na turističke obilaske i održavaju vezu tijekom turističke sezone između hotelskih naselja na Velom i Malom

Lošinju. Iz toga proizlazi da bi autobusi godišnje prešli 58400 km s potrošnjom 0.2 kgH_2/km [13]. Taxi godišnje prosječno 20000 km s potrošnjom 0.0125 kgH_2/km [32], a skuter 7000 km s prosječnom potrošnjom od 0.0006 kgH_2/km [33].



Slika 36. „100% obnovljiv otok“

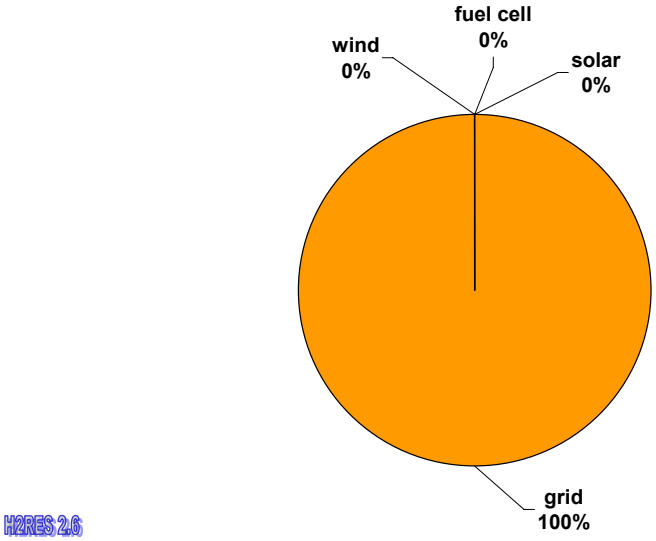
Vodik da bi se mogao koristiti u transportu mora se znatno komprimirati. Kod osobnih automobila koji koriste gorive ćelije vodik se nalazi pod tlakom od 350 bara. Za usporedbu standardan tlak vodika koji se dobije elektrolizom je 20 bara [12].



Slika 37. Autobus koji se zasniva na vodikovoj tehnologiji [13]

5.3 Rezultati modeliranja scenarija

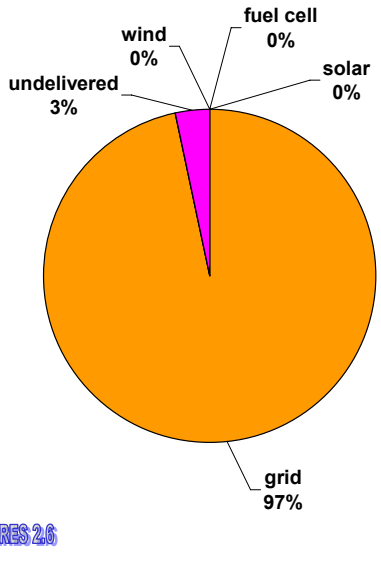
5.3.1 *Business as usual* scenarij

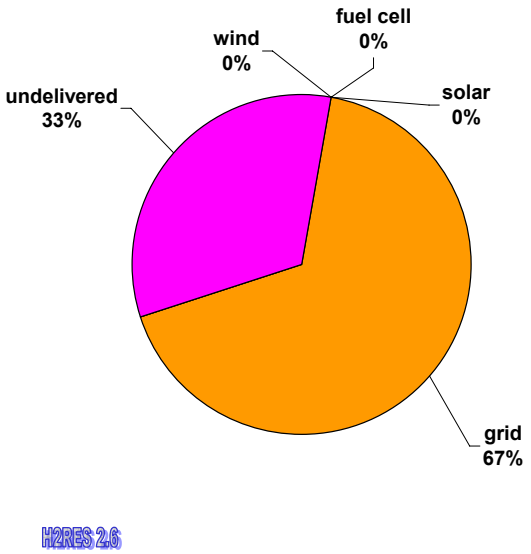


Slika 38. Zadovoljavanje potrošnje u *business as usual* scenariju

U ovom scenariju jedini izvor električne energije je mreža (grid). Stanje na otoku je zadovoljavajuće do 2020. godine (slika 39.) kada kapacitet trafostanice postaje nedovoljan. Njezin kapacitet je 40 MW, a vršno opterećenje 63.3 MW. Jedno od mogućih rješenja nastalog problema je povećanje kapaciteta trafostanice na 70 MW. To povećanje je moguće s

postojećim kapacitetom podmorskih kabela s kojima je otok Cres vezan s Krkom, no kapacitet nadmorskih kabela Cres – Lošinj bio bi nedostatan (tablica 17. str. 55.). Te se kao moguće rješenje nameće povećanje kapaciteta nadmorskih kabela Cres – Lošinj. Ako bi se trend godišnjeg povećanja potrošnje od 10% nastavio do 2025. godine (slika 40.), vršno opterećenje iznosilo bi 102 MW što postojeća elektrodistribucijska infrastruktura ne bi mogla osigurati. Rješenje je izgradnja nove trafostanice na Lošinju, ali i novog distribucijskog dalekovoda. Prema prostornom planu grada Cresa predviđena je izgradnja transformatorske stanice – Loznati (100/20kV) i distribucijskog dalekovoda 110 kV: TE Plomin – TS Loznati – Krk – Lošinj [34].





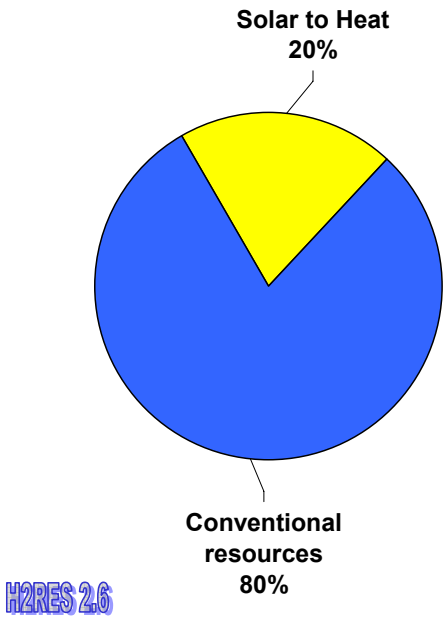
Slika 39. i slika 40. Zadovoljavanje potrošnje u *business as usual* scenariju za 2020. i 2025 godinu

5.3.2 PTV (potrošna topla voda) scenarij

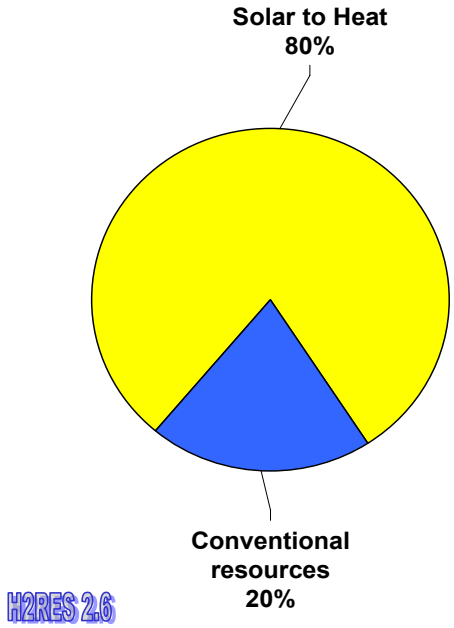
U ovom scenariju instalirani su samo solarni termalni kolektori i cilj ovog scenarija je zadovoljiti samo potrebu za potrošnom toplom vodom. Da bi prema scenariju uspjeli 2010. zadovoljiti 20% potreba za PTV-om potrebno je instalirati 7200 kW_t solarnih termalnih kolektora, odnosno 9000 m^2 uz danu iskoristivost komponenata. Da bi povećali udio PTV-a iz solarnih kolektora za 20% svakih pet godina potrebno je 2015. instalirati 17520 kW_t ili 21900 m^2, 2020. 33760 kW_t ili 42200 m^2, te 2025. 59200 kW_t ili 74000 m^2 (prikaz je dan na slici

44.). Na slici 43. dano je zadovoljavanje potrošnje PTV-a po godina, a slika 41. i slika 40. prikazuju postotak koji dolazi iz obnovljivih i konvencionalnih izvora za 2010. i 2025. godinu.

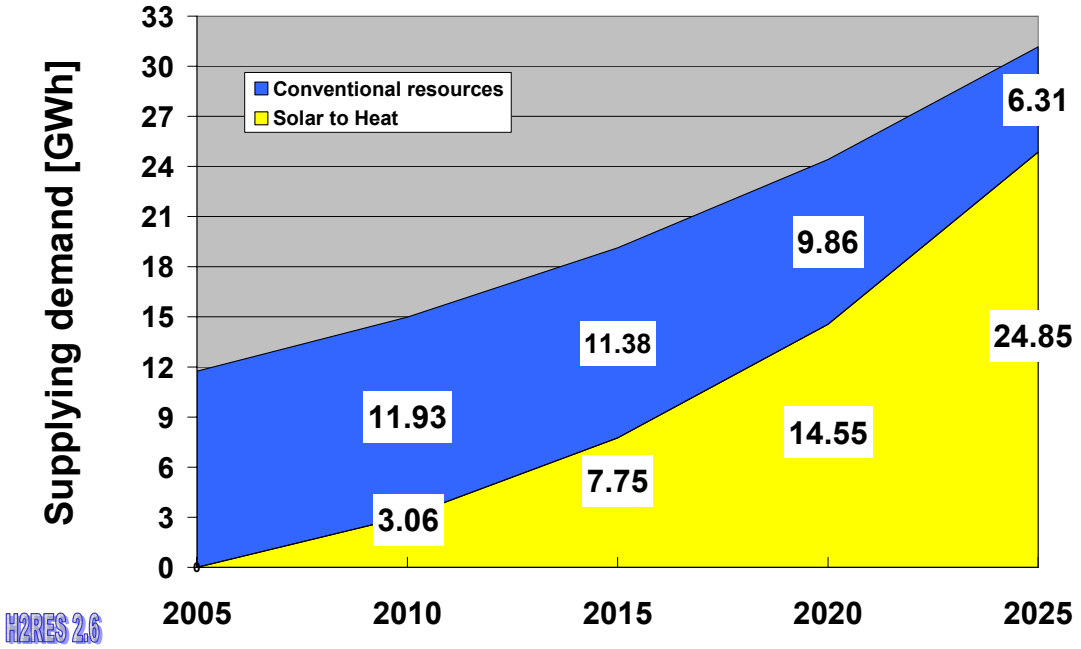
Pri modeliranju ovog scenarija koristio se i toplinski spremnik. Što je veći volumen spremnika, kolektor prikupi više energije jer radi na nižim temperaturama. Međutim, povećanjem volumena raste i vanjska površina spremnika pa i toplinski gubici. Zato postoji optimalni volumen spremnika. Optimalni volumen spremnika u sustavu za dobivanje tople vode je oko 300 do 400 litara vode, što bi odgovaralo 50 do 60 litara vode po kvadratnom metru kolektorske površine [35]. S obzirom na taj podatak veličina spremnika odabrana je da na 1 m^2 solarnih termalnih kolektora dolazi 50 litara toplinskog spremnika. Povećanje kapaciteta spremnika kroz godine dan je na slici 45.



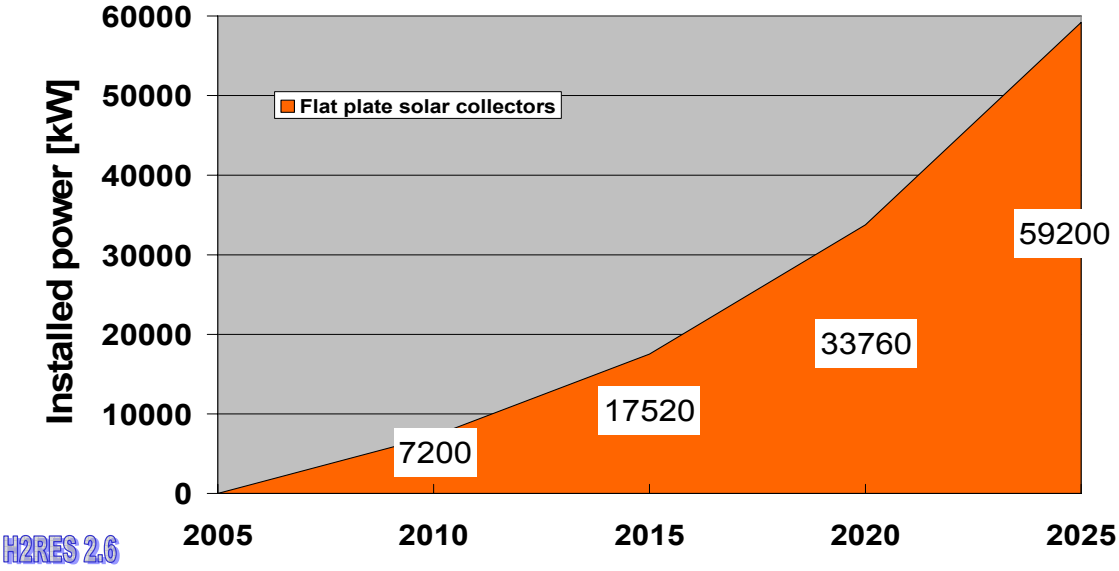
Slika 41. Zadovoljavanje potrošnje u 2010. godini za PTV scenarij



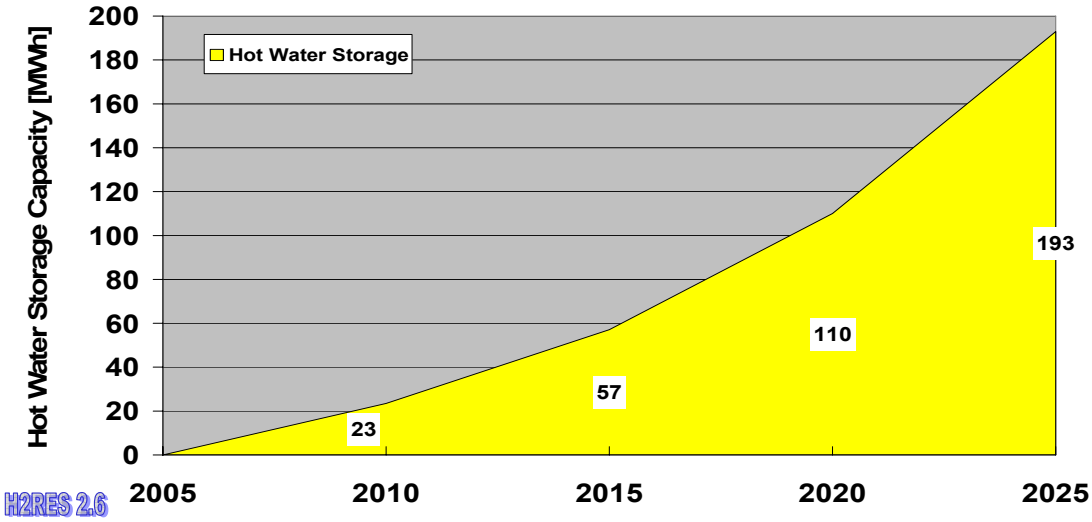
Slika 42. Zadovoljavanje potrošnje u 2025. godini za PTV scenarij



Slika 43. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za PTV scenarij

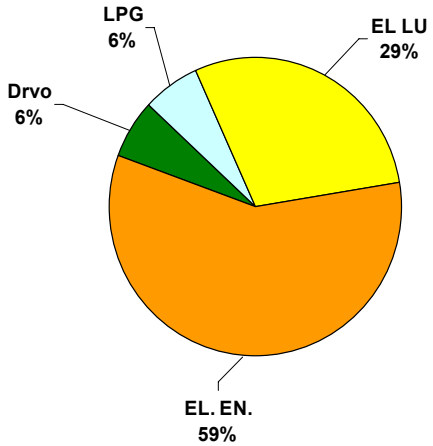


Slika 44. Snaga instaliranih komponenti po godinama za PTV scenarij

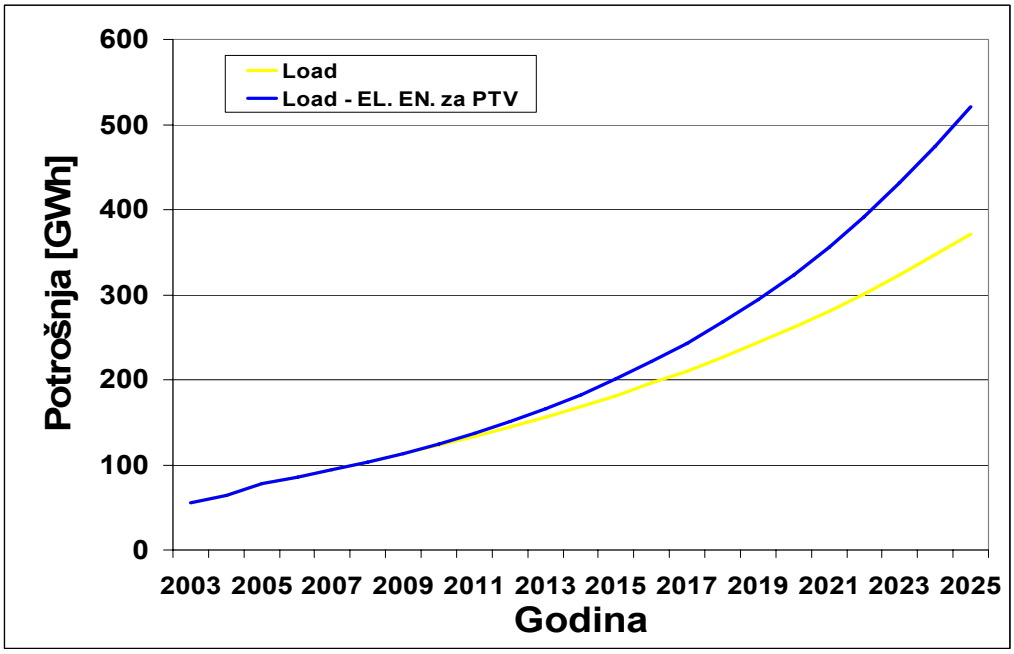


Slika 45. Kapacitet spremnika za potrošnu toplu vodu

Da bi odredili koliko se zapravo uštedi električne energije primjenom solarnih termalnih kolektora koristili su se podaci o potrošnji finalne energije (slika 22. i slika 23. str. 41.). Na osnovu tih podataka procijenjen je udio pojedinog energenta u zagrijavanju PTV-a, te su dobiveni podaci dani na slici 47. Dobiven je rezultat da električna energija sudjeluje sa 59% u zagrijavanju PTV-a. I taj se podatak koristio pri računanju koliko se zapravo električne energije uštedi, a rezultati analize po godinama dani su u tablici 18. Ušteda električne energije dobivena je tako da je uzeto 59% od ukupne energije koje smo dobili iz solarnih kolektora, dok ostatak otpada na uštedama koje bi dobili da zamijenimo drvo, loživo ulje i plin.



Slika 46. Energija koja se troši na zagrijavanje potrošne tople vode (1998. godina)



Slika 47. Utjecaj korištenja solarnih termalnih kolektora na smanjenje potrošnje po godinama

Tablica 18. Potrošnja energije potrebne za zagrijavanje PTV-a i uštede [kWh]

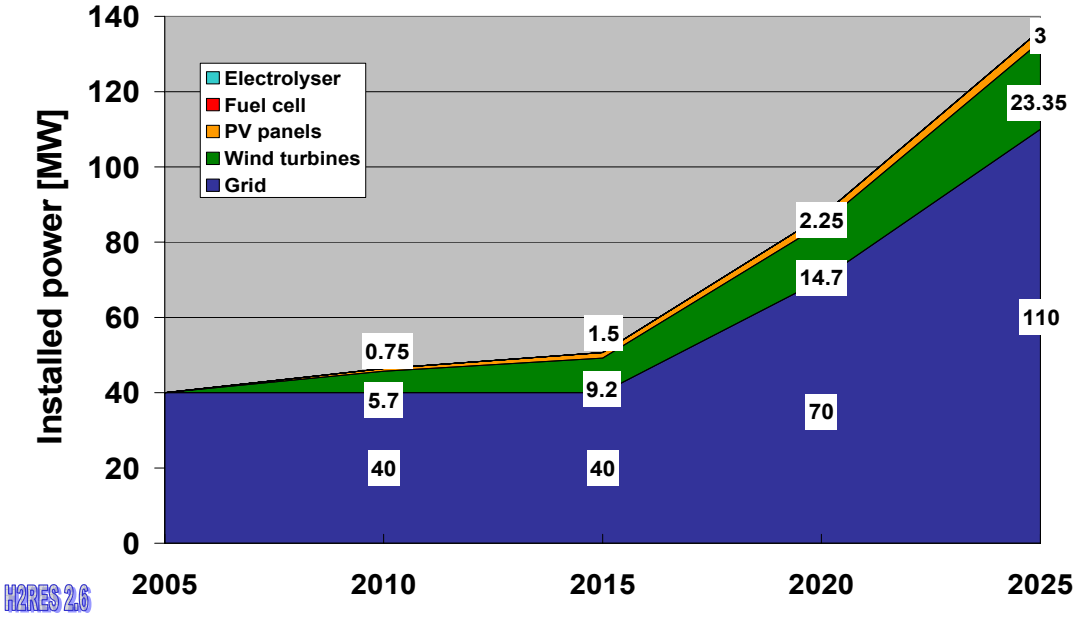
Godina	2010	2015	2020	2025
Energija potrebna za zagrijavanje PTV-a	14987785	19128634	24413523	31158529
Energija dobivena od Sunca	3059503	7745924	14554918	24853393
Ušteda električne energije	1776486	4497633	8451243	14431002
Ušteda u ukupnoj potrošnji el. energije%	1.42%	2.24%	2.61%	2.77%

5.3.3 VjetarSunce30% scenarij

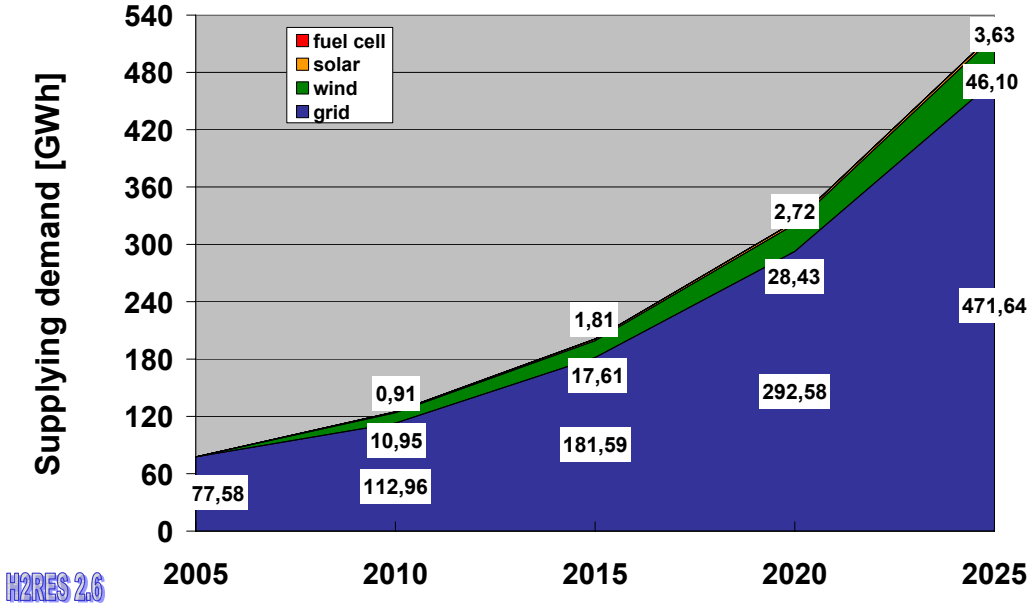
Pri modeliranju ovog scenarija postavljena su dva uvjeta. Prvi, da udio električne energije iz intermitentnih izvora (vjetar, sunce) ne prijeđe 30% od trenutnog opterećenja elektroenergetskog sustava. Drugi, da udio odbačene energije (intermittent rejected) ne bude veća od 10% ukupne energije iz obnovljivih izvora.

U 2010. godini instalacijom 2x2 MW vjetroturbina tipa Vestas V90, te 750 kW_p PV panela , odnosno 5000 m^2 uspjelo se zadovoljiti 9.5% potreba za električnom energijom (slika 51. zadovoljavanje potrošnje u 2010.). Instalacijom dodatne vjetroturbine od 1.8 MW tipa Vestas V90 i dodatnih 750 kW_p zadovoljeno je 9.7% potreba za električnom energijom. U 2020.

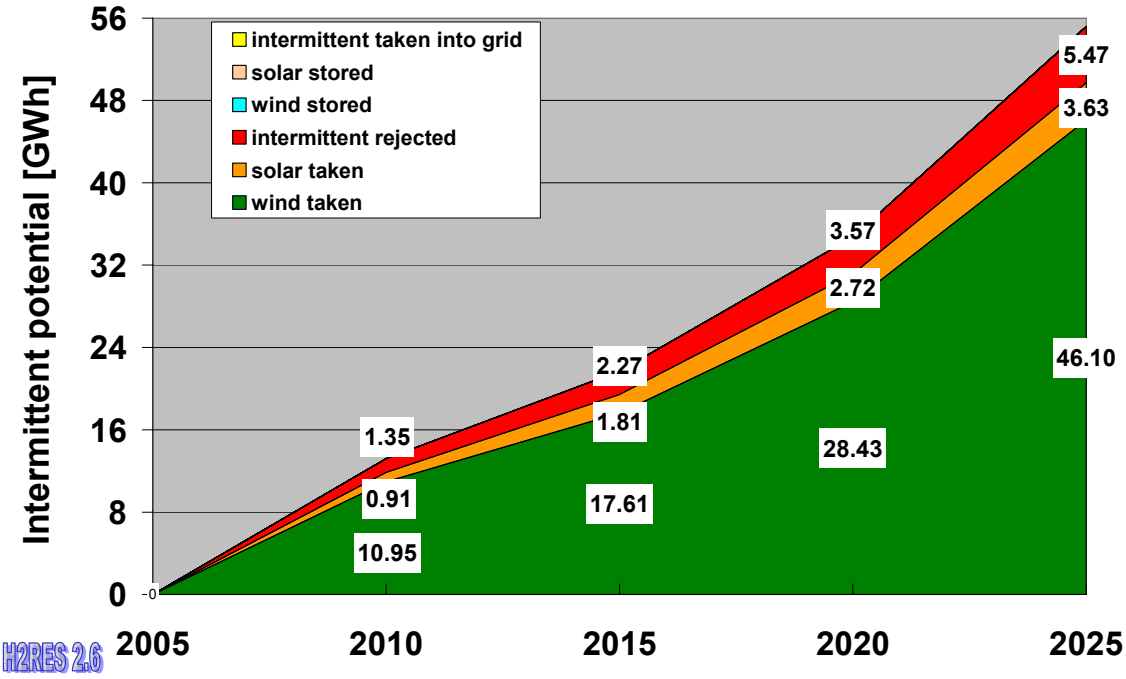
zadovoljeno je 9.6% potreba instaliranjem jedne vjetroturbine od 1.8 MW tipa Vestas V90 i jedne 2 MW tipa Vestas V90 de dodatnih te 750 kW_p PV panela. Instaliranjem dodatnih 3x2 MW vjetroturbina tipa Vestas V90 te 1x1.8 MW tipa Vestas V90 i dodatnih 750 kW_p u 2025. godini uspjelo se zadovoljiti 9.5% potreba za električnom energijom (slika 52). Instalirana snaga dana je po godinama na slici 48., a na slici 49. dano je zadovoljavanje potrošnje po godinama, a na slici 50. korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora.



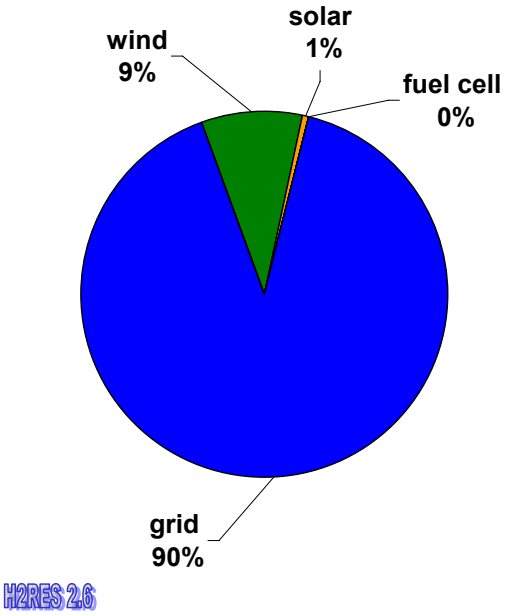
Slika 48. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij VjetarSunce30%



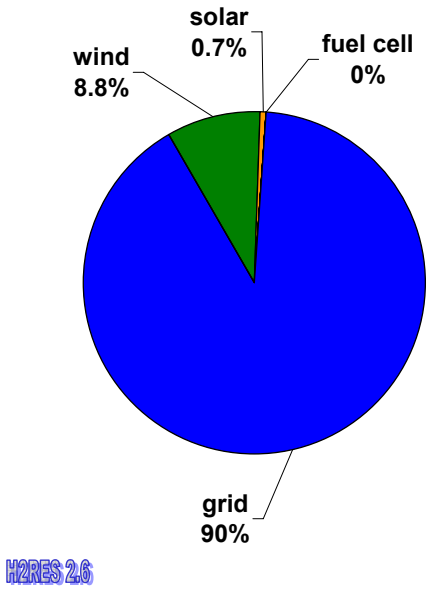
Slika 49. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za scenarij VjetarSunce30%



Slika 50. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju VjetarSunce30%

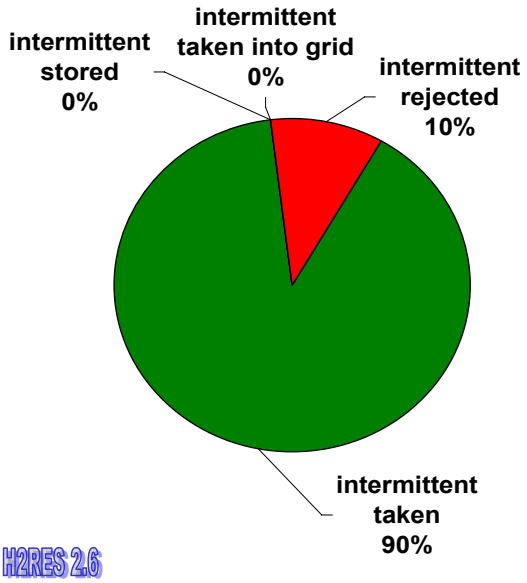


Slika 51. Zadovoljavanje potrošnje u 2010. godini za VjetarSunce30% scenariji



Slika 52. Zadovoljavanje potrošnje u 2025. godini za VjetarSunce30% scenarij

Udio odbačene energije držao se prema zadanom uvjetu na 10% od godišnjeg potencijala intermitentnih izvora. Iako slika 53. prikazuje korištenje intermitentnih potencijala za 2010. godinu, ovakav prikaz vrijedi za razdoblje između 2010. – 2025. godine.



Slika 53. Korištenje intermitentnih potencijala u 2010. godini
za VjetarSunce30% scenarij

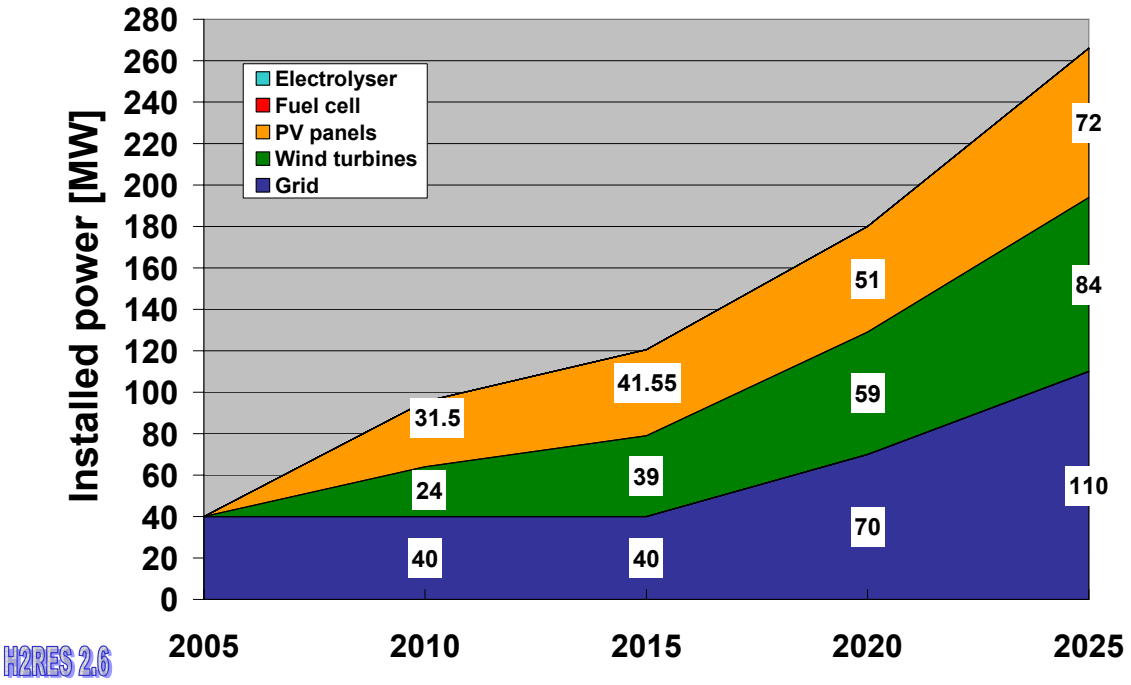
5.3.4 VjetarSunce100% + PTV scenarij

U ovom scenariju dozvoljena je maksimalna penetracija električne energije dobivene iz obnovljivih intermitentnih izvora (sunce, vjetar). Postavljen je uvjet od 30% na udio energije dobiven iz intermitentnih izvora koje možemo putem mreže izvesti prema kopnu i da udio odbačene energije ne prelazi 10% intermitentnog potencijala.

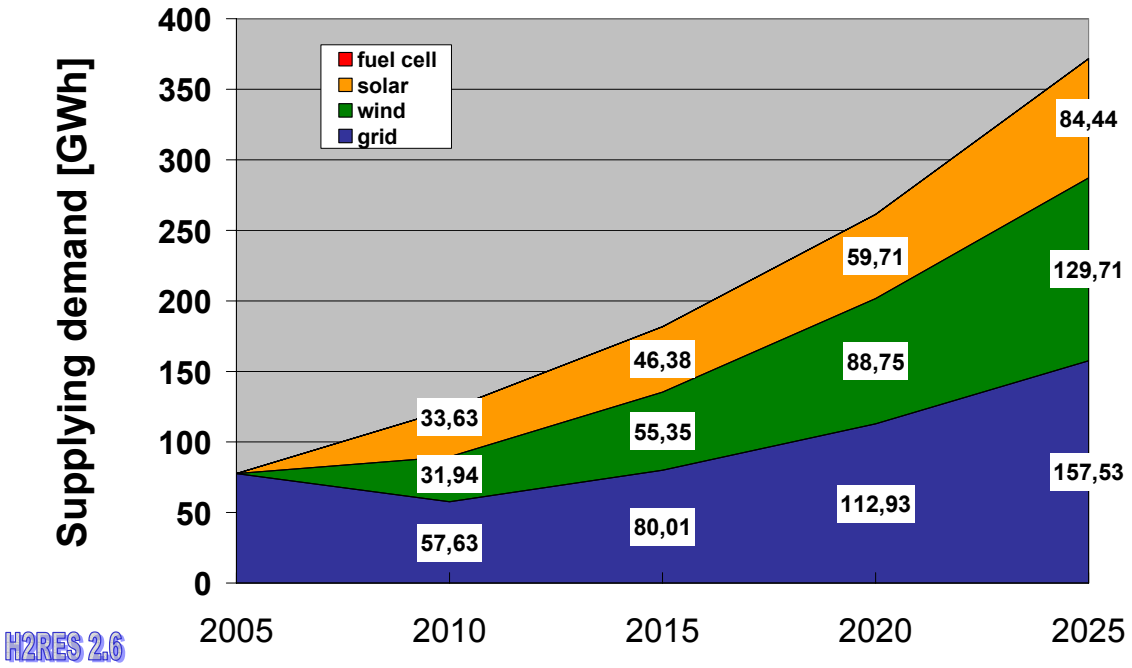
Pri modeliranju ovog scenarija opterećenje je umanjeno za iznos energije koji dobijemo instaliranjem solarnih termalnih kolektora (slika 47. utjecaj korištenja solarnih termalnih kolektora na smanjenje potrošnje po godinama i tablica 18. potrošnja energije potrebne za zagrijavanje PTV-a i uštede [kWh]) prema PTV scenariju.

Na slici 54. dan je prikaz instalirane snage po godinama, a koristili su se PV paneli, te dva tipa vjetroturbina (Vestas V90 i REpower 5M). 2010. godine instaliranjem 12x2 MW vjetroturbina tipa Vestas V90 i 31.5 MW_p PV panela (210000 m^2) zadovoljeno je 53%

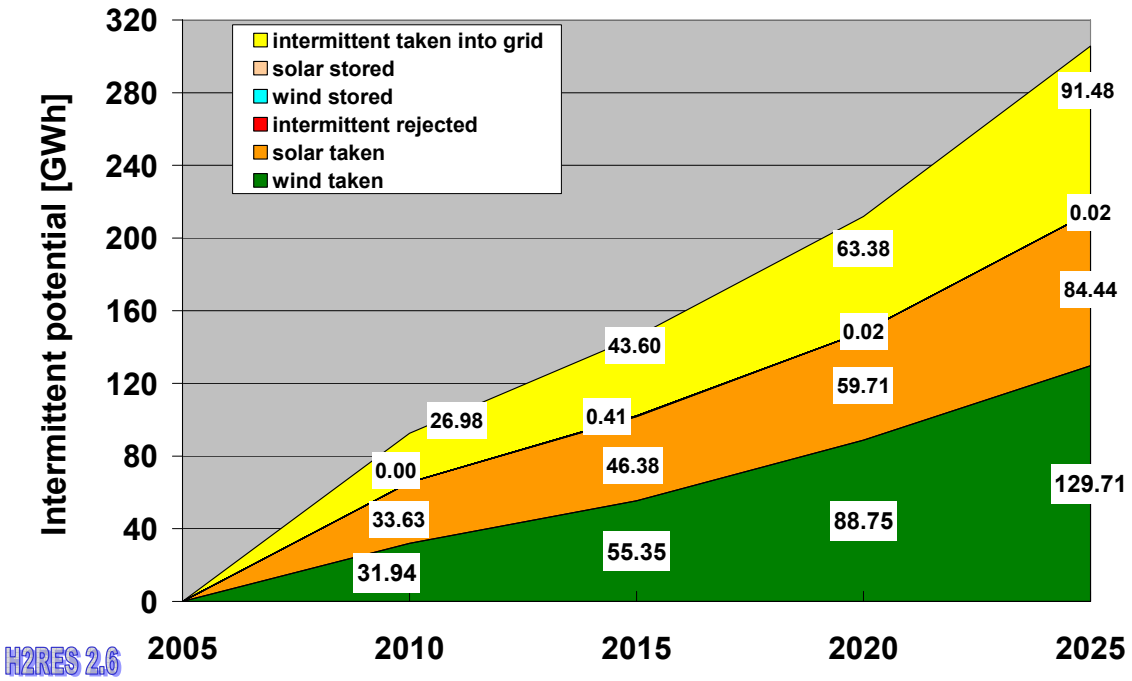
potreba za električnom energijom. 2015. godine instaliranjem dodatnih 3x5 MW vjetroturbina tipa REpower 5M i 10.5 MW_p (67000 m^2) zadovoljeno je 56% potreba za električnom energijom. U 2020. godini zadovoljeno je 57% potreba za električnom energijom, a instalirano je dodatnih 4x5 MW vjetroturbina (REpower 5M) i 9.45 MW_p (63000 m^2). 2025. zadovoljeno je 58% potreba za električnom energijom iz obnovljivih izvora. Instalirano je 5x5 MW vjetroturbina (REpower 5M) i 21 MW_p (140000 m^2). Na slici 54. dano je zadovoljavanje potrošnje po godinama, a na slici 56. korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora. Na slici 57. prikazano je korištenje intermitentnih potencijala za 2025. godinu, a slična situacija je i za ostale godine, budući da nam je uvjet bio da ne smijemo više od 30% potencijala izvesti u mrežu prema kopnu.



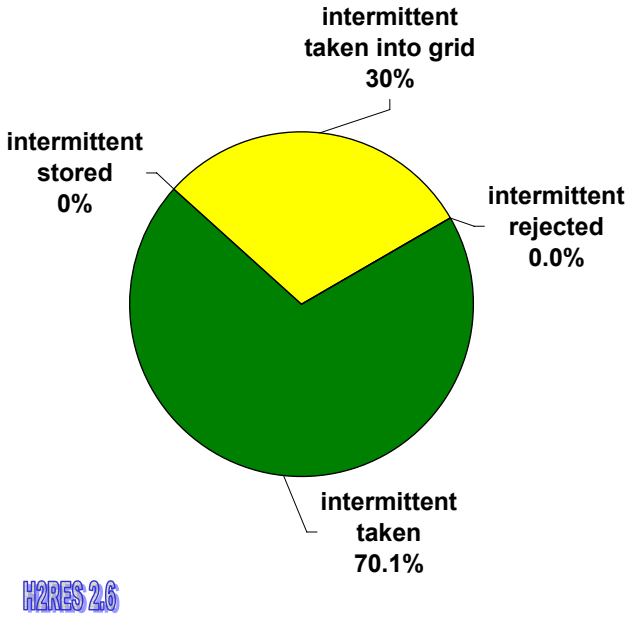
Slika 54. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij VjetarSunce100% + PTV



Slika 55. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za scenarij VjetarSunce100% + PTV



Slika 56. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju VjetarSunceTransport100% + PTV



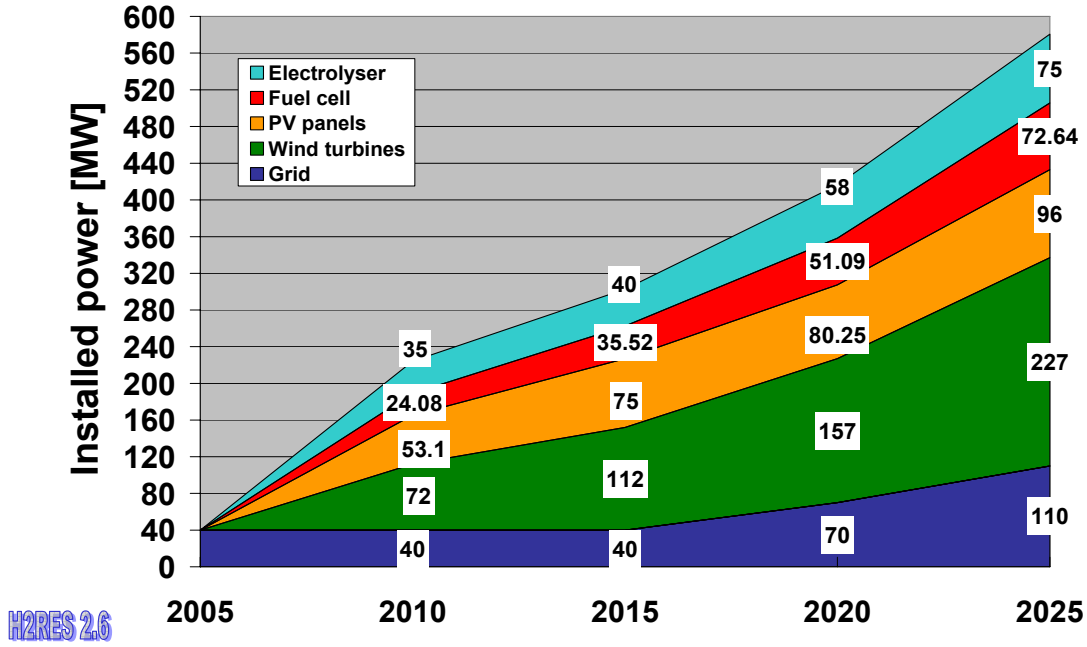
Slika 57. Korištenje intermitentnih potencijala
u 2025. godini za VjetarSunce100% + PTV scenarij

5.3.5 H_2VjetarSunce100% + PTV scenarij

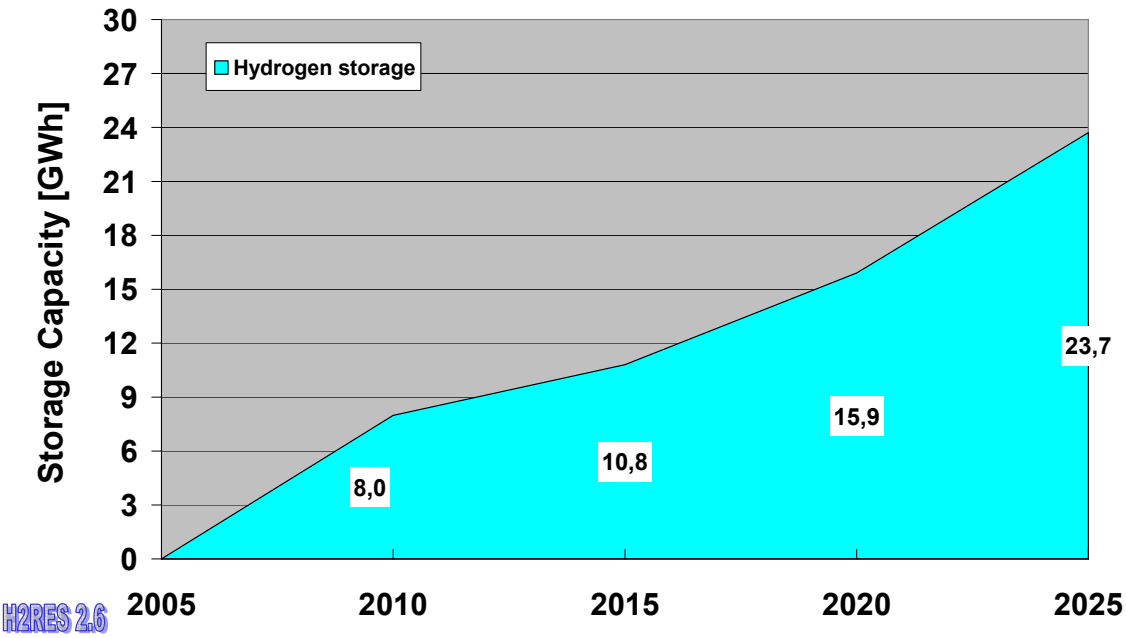
U ovom scenariju vrijede ista ograničenja, a i opterećenje je izvedeno na isti način. Novost je instalacija gorivih ćelija, elektrolizera i vodikovog spremnika. Uz pomoć ovih triju novih komponenata moguće je u potpunosti pokriti potrebe za potrošnjom električne energije. U vrijeme kad se generira višak električne energije koristimo elektrolizer za proizvodnju vodika (H_2) i njega spremamo u spremnik, te onda isti taj vodik koristimo za proizvodnju električne energije pomoću gorivih ćelija kada vjetroturbine i PV paneli ne mogu pokriti opterećenje.

Da bi se osiguralo 100% zadovoljavanje potrošnje iz obnovljivih izvora potrebno je 2010. godine instalirati 36x2 MW vjetroturbina tipa Vestas V90 i 53.1 MW_p PV panela (354000 m^2). Također instalirano je 35 MW elektrolizera, 24.078 MW gorivih ćelija, a kapacitet spremnika je 7.98 GWh. 2015. instalirano je dodatnih 8x5 MW vjetroturbina (REpower 5M), 21.9 MW_p PV panela (146000 m^2), te 5 MW elektrolizera, 11.441 MW gorivih ćelija i 2.82 GWh spremnika. 2020. dodatnih 9x5 MW vjetroturbina (REpower 5M) i 5.25 MW_p PV panela (35000 m^2), te 18 MW elektrolizera, 15.568 MW gorivih ćelija i 5.1 GWh spremnika. Da bi se i u 2025. osiguralo 100% zadovoljavanje potrošnje električne energije potrebno je instalirati dodatnih 14x5 vjetroturbina (REpower 5M) i 15.75 MW_p PV panela (105000 m^2),

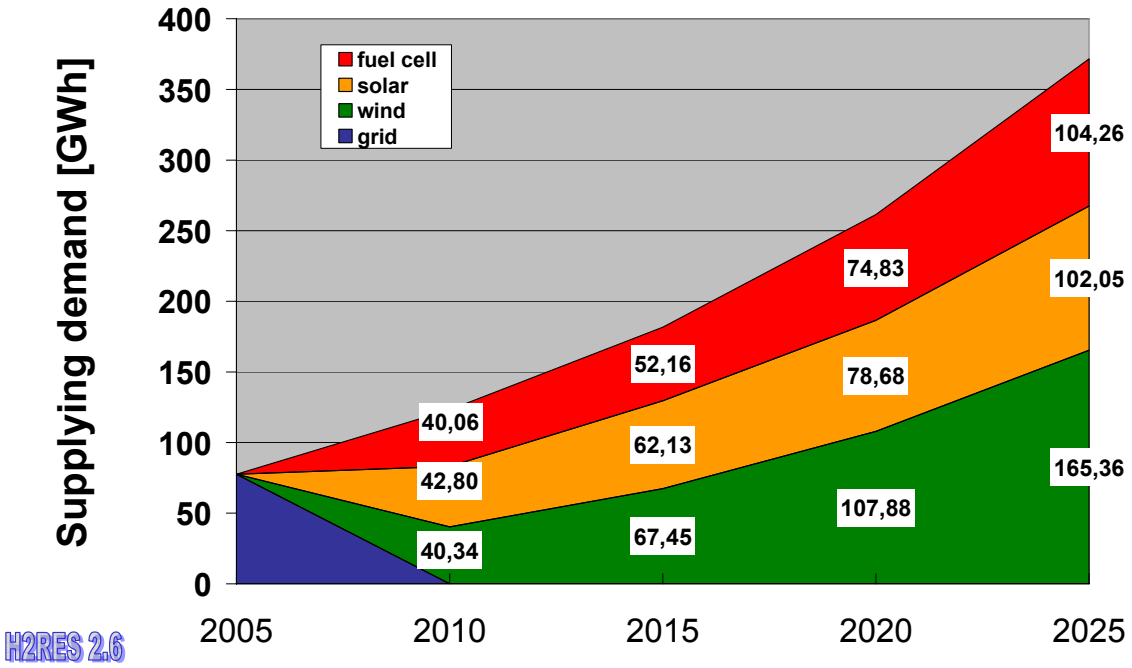
te 17 MW elektrolizera, 21.555 MW i 7.8 GWH spremnika. Povećanje snage instaliranih komponenti prikazuje slika 58., dok slika 59. prikazuje povećanje kapaciteta spremnika za vodik.



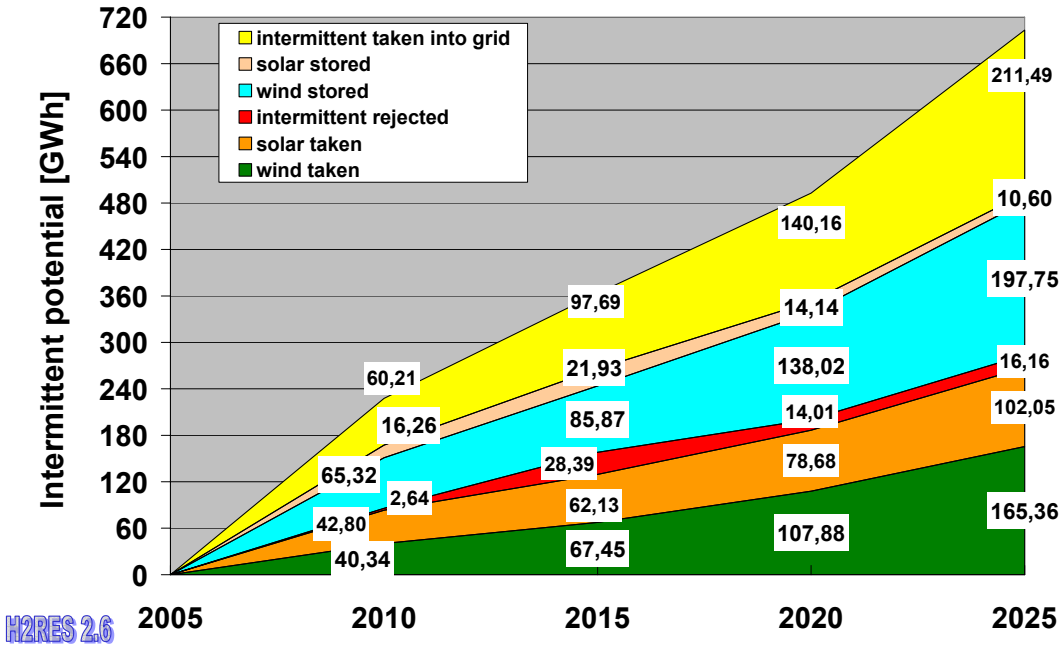
Slika 58. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij H_2VjetarSunce100% + PTV



Slika 59. Kapacitet spremnika za vodik H_2VjetarSunce100% + PTV



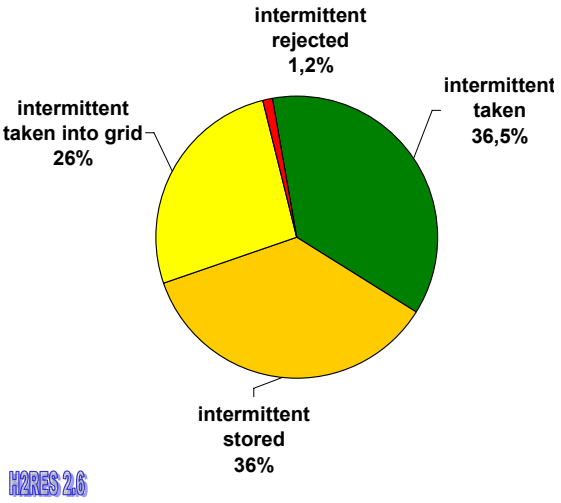
Slika 60. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za scenarij H_2VjetarSunce100% + PTV

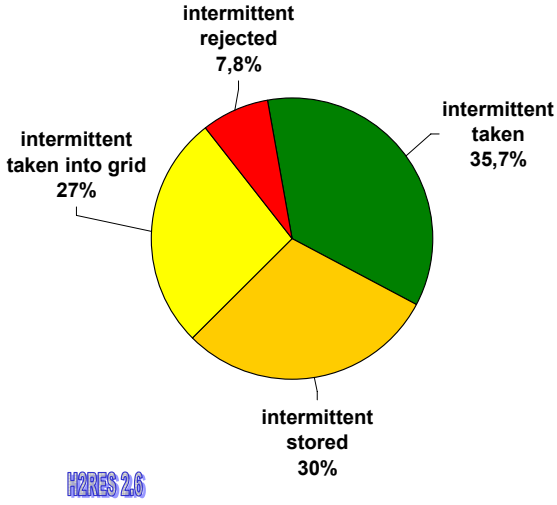


Slika 61. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju H_2VjetarSunce100% + PTV

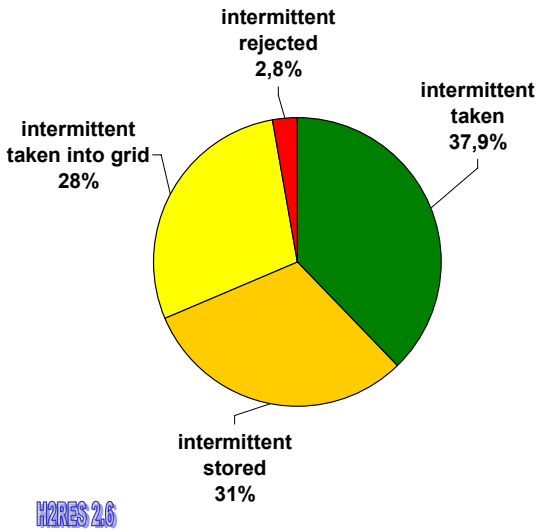
Na slici 61. prikazano je korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora, dok je na slici 62. do 63. isti podatak dan u postocima. Iz čega je vidljivo da je zadovoljen uvjet scenarija,

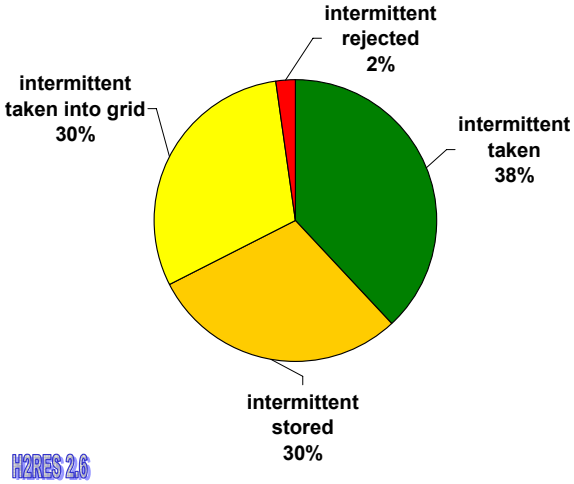
maksimalno 30% energije koje je dobiveno iz intermitentnih izvora je putem mreže izvezeno prema kopnu, a udio odbačene energije ne prelazi 10% intermitentnog potencijala.





Slika 62. Korištenje intermitentnih potencijala u 2010. i slika 63. korištenje intermitentnih potencijala u 2015. godini za H_2VjetarSunce100% scenarij



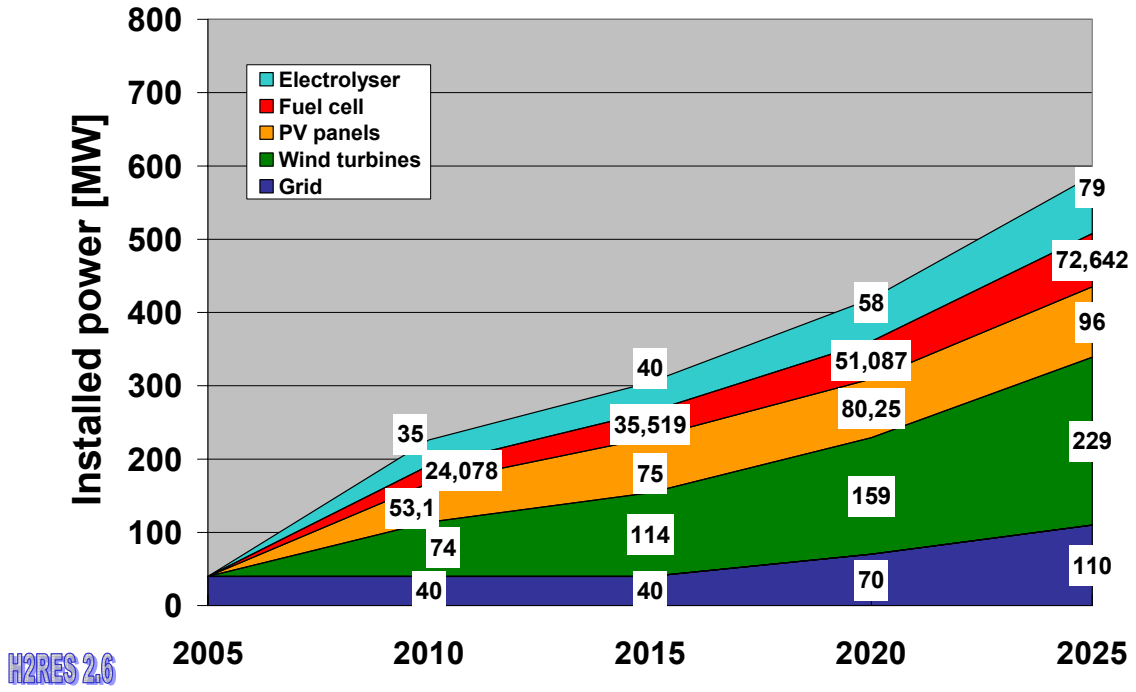


Slika 64. Korištenje intermitentnih potencijala u 2020. i slika 65. korištenje intermitentnih potencijala u 2025. godini za H_2VjetarSunce100% scenarij

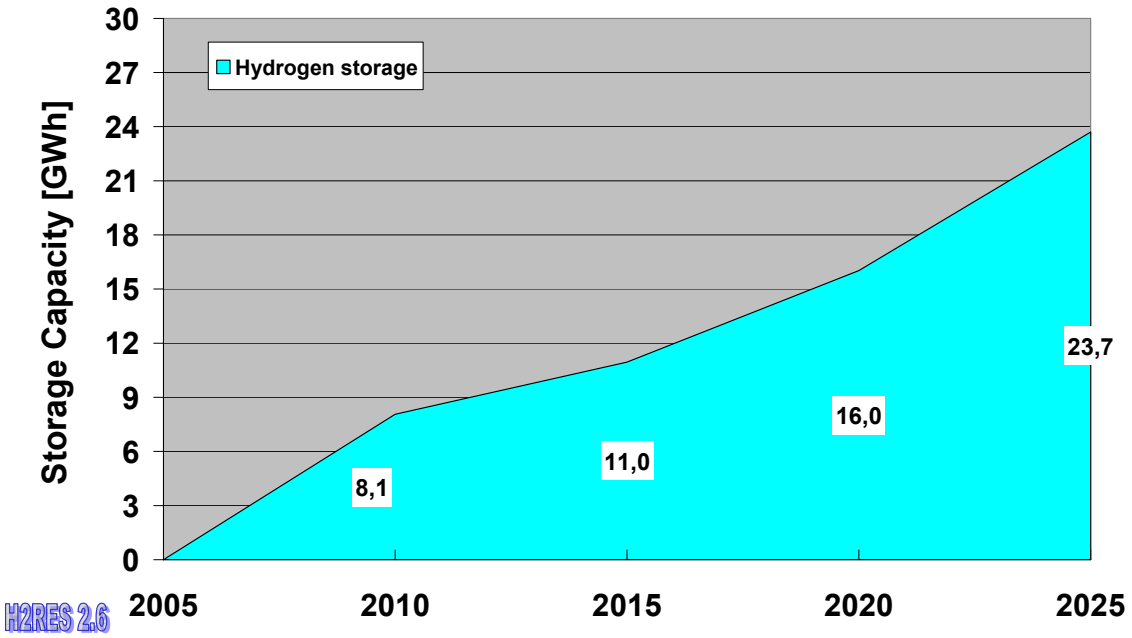
5.3.6 H_2VjetarSunceTransport100% + PTV scenarij

Ovaj scenarij predstavlja „potpuno obnovljivi otok“, uz vjetroturbine, PV panele, solarne termalne kolektore, elektrolizer, gorive ćelije, spremnik vodika, uveden je i transport koji se zasniva na vodikovoj tehnologiji.

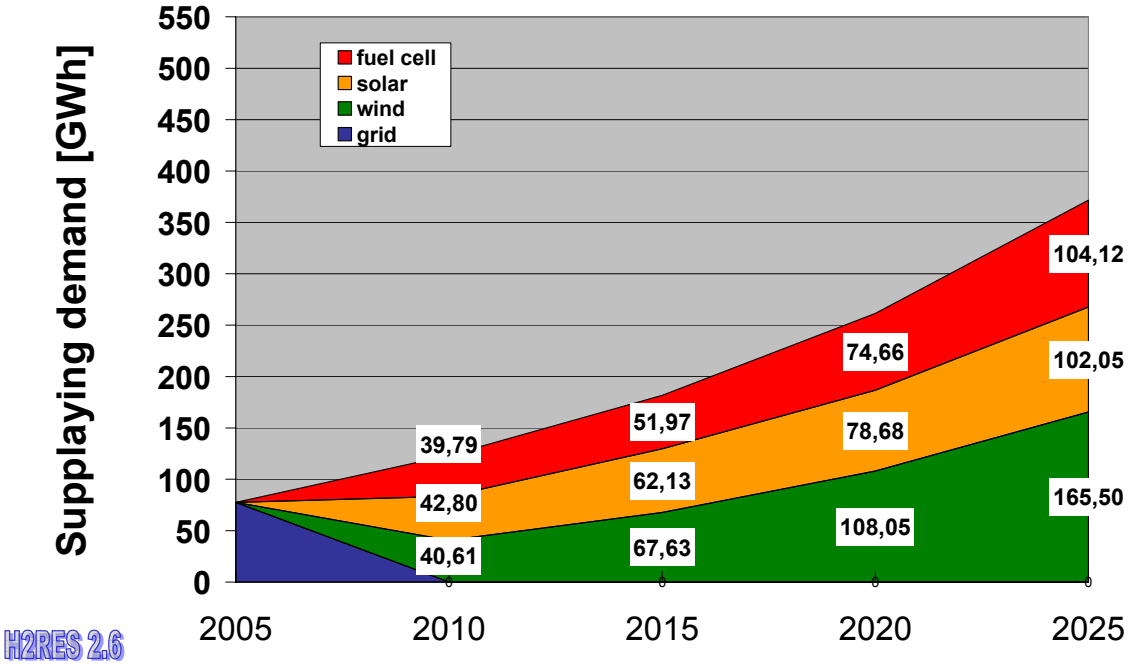
Slika 66. prikazuje snagu instaliranih komponenti po godinama za ovaj scenarij. Da bi se osiguralo 100% zadovoljavanje potrošnje iz obnovljivih izvora potrebno je 2010. godine instalirati 37x2 MW vjetroturbina tipa Vestas V90 i 53.1 MW_p PV panela (354000 m^2). Također instalirano je 35 MW elektrolizera, 24.078 MW gorivih ćelija, a kapacitet spremnika je 8.055 GWh. 2015. instalirano je dodatnih 8x5 MW vjetroturbina (REpower 5M), 21.9 MW_p PV panela (146000 m^2), te 5 MW elektrolizera, 11.441 MW gorivih ćelija i 2.895 GWh spremnika. 2020. dodatnih 9x5 MW vjetroturbina (REpower 5M) i 5.25 MW_p PV panela (35000 m^2), te 18 MW elektrolizera, 15.568 MW gorivih ćelija i 5.07 GWh spremnika. Da bi se i u 2025. osiguralo 100% zadovoljavanje potrošnje električne energije potrebno je instalirati dodatnih 14x5 vjetroturbina (REpower 5M) i 15.75 MW_p PV panela (105000 m^2), te 21 MW elektrolizera, 21.555 MW gorivih ćelija i 7.68 GWh spremnika.



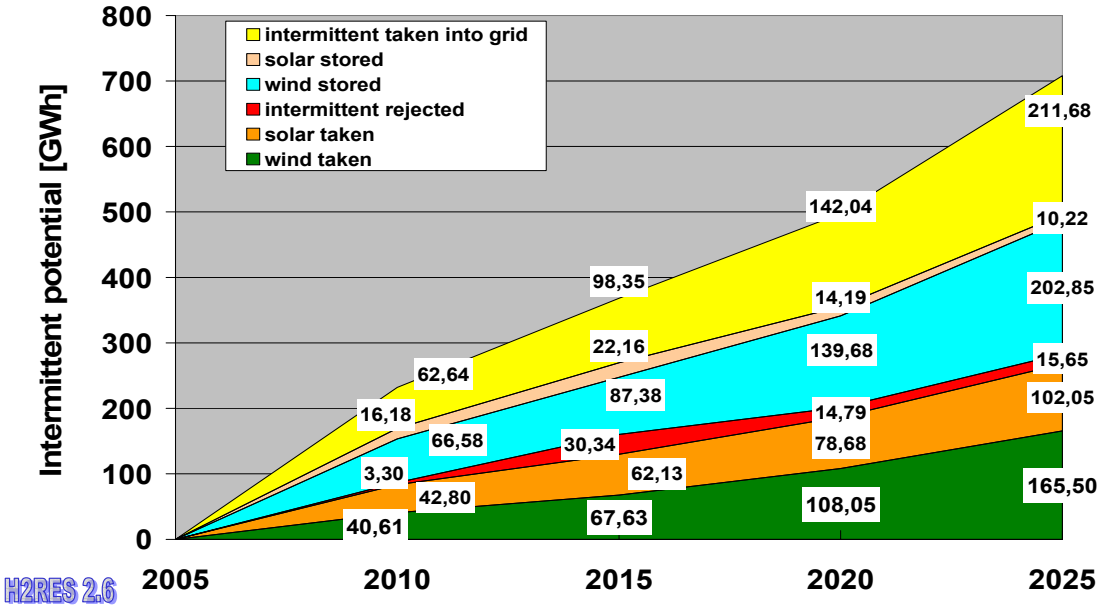
Slika 66. Snaga instaliranih komponenti po godinama za scenarij H_2VjetarSunceTransport100% + PTV



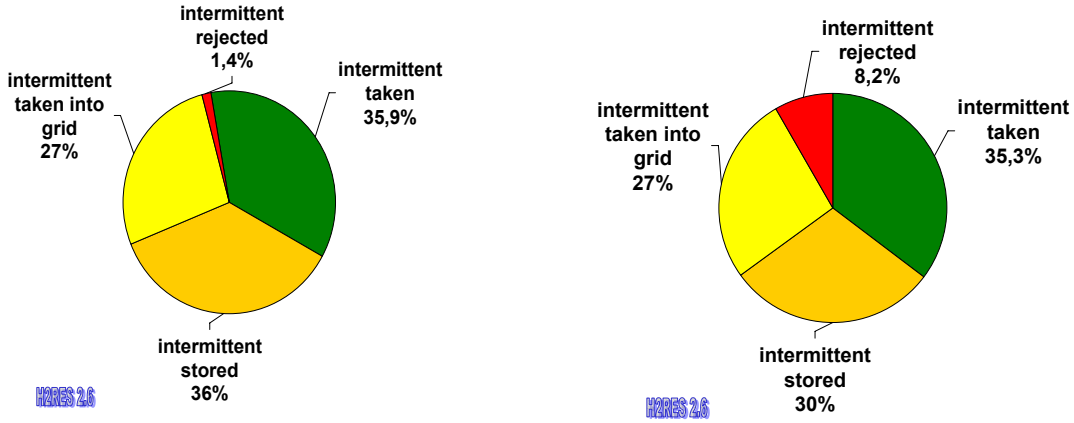
Slika 67. Kapacitet spremnika za vodik H_2VjetarSunceTransport100% + PTV



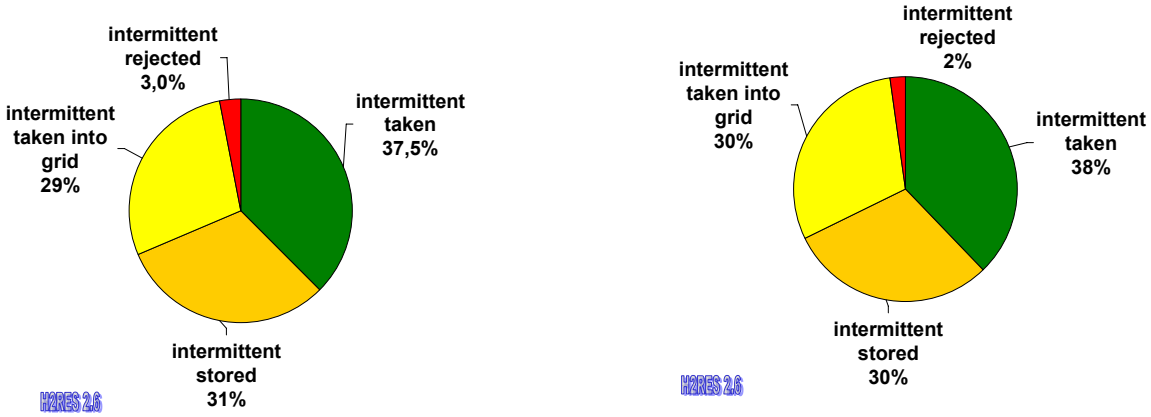
Slika 68. Zadovoljavanje potrošnje po godinama za scenarij H_2VjetarSunceTransport100% + PTV



Slika 69. Korištenje godišnjeg potencijala intermitentnih izvora u scenariju H_2VjetarSunceTransport100% + PTV



Slika 70. Korištenje intermitentnih potencijala u 2010. i slika 71. korištenje intermitentnih potencijala u 2015. godini za H_2VjetarSunceTransport100% scenarij

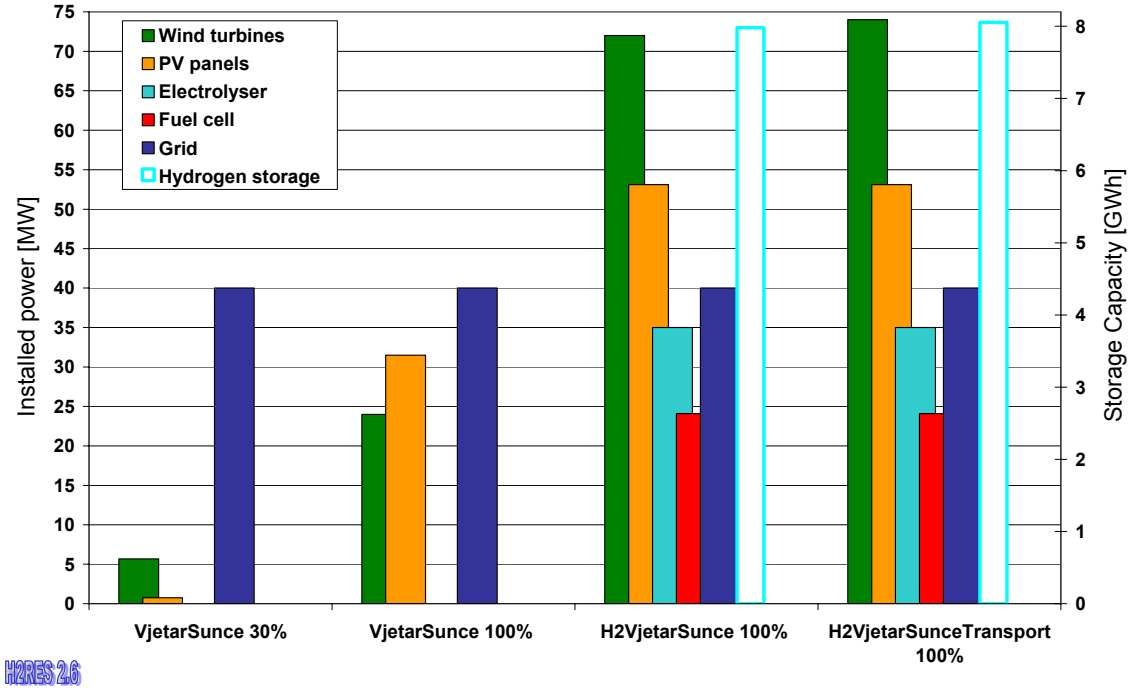


Slika 72. Korištenje intermitentnih potencijala u 2020. i slika 73. korištenje intermitentnih potencijala u 2025. godini za H_2VjetarSunceTransport100% scenarij

5.4 Usporedba scenarija

Usporedba je provedena za 4 scenarija: VjetarSunce30% te VjetarSunce100%, H_2VjetarSunce100% i H_2VjetarSunceTransport100%. Razlika je u tome da u scenarijima s dopuštenom 100% penetracijom iz intermitentnih izvora opterećenje je umanjeno za iznos ušteda (tablica 18. str. 64) dobivenih instalacijom solarnih termalnih kolektora za zagrijavanje potrošne tople vode, odnosno u tim scenarijima instalirani su i solarni termalni kolektori.

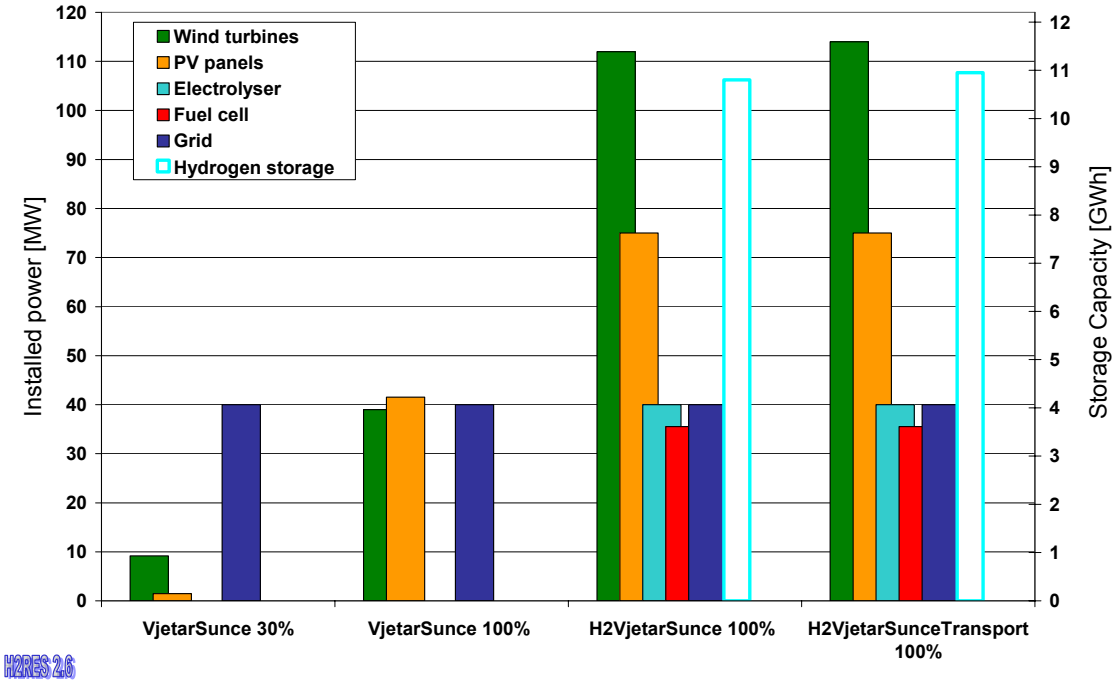
Zbog očitih gore navedenih razlika trebalo bi scenarij 30% prikazati odvojeno, ali zbog jednostavnosti prikaza dan je zajedno sa 100% scenarijima. U scenariju VjetarSunce30% i VjetarSunce100% za zadovoljavanje potrošnje električne energije instalirane su vjetroturbine i PV paneli. U scenarijima H_2VjetarSunce100% i H_2VjetarSunceTransport100% uz vjetroturbine i PV panele instalirane su i gorive ćelije, elektrolizer i spremnik. Slike 74. do 77. prate kroz period od 2010. do 2025. godine instalaciju potrebne snage i kapacitet pojedinih komponenti na Lošinju.



Slika 74. Snaga instaliranih komponenti za scenarije 30% i 100% u 2010. godini

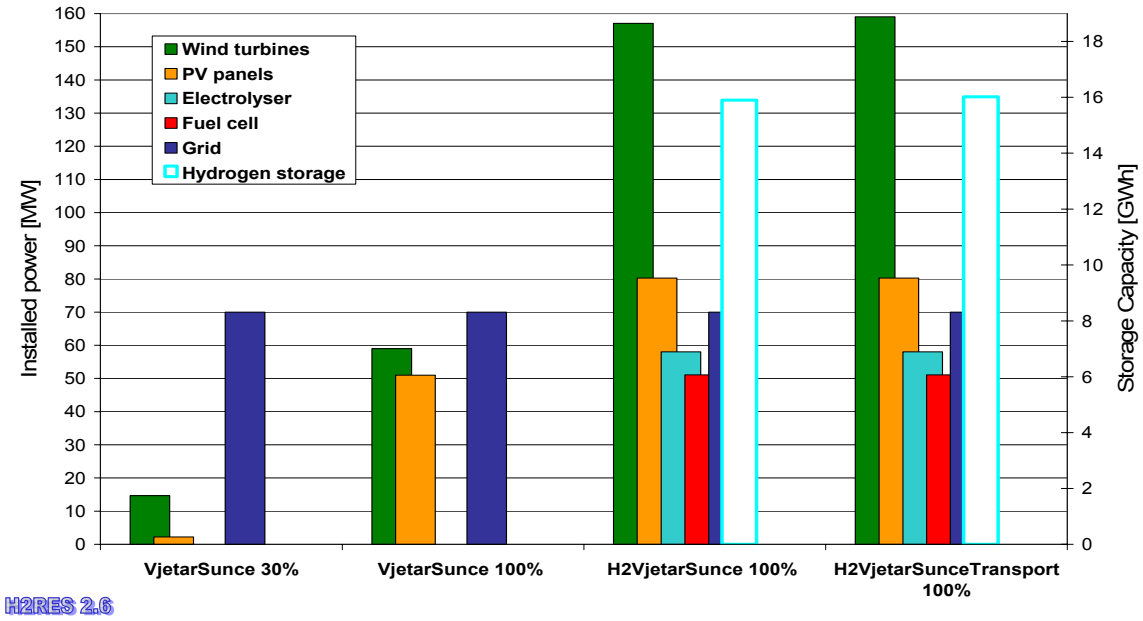
Scenariji H_2VjetarSunce100% i H_2VjetarSunceTransport100% gotovo su identični i razlike su minimalne po godinama. U scenariju koji uključuje transport potrebno je 2010. instalirati 1x2

MW vjetroturbina (tipa Vestas V90) i 75 MWh spremnika, 2015. potrebno je dodati 75 MWh spremnika više u odnosu na scenarij bez transporta. U 2020. dodano je 30 MWh spremnika manje nego u scenariju bez transporta, a u 2025. dodano je 120 MWh spremnika manje, ali 4 MW elektrolizera više u scenariju koji uključuje transport.

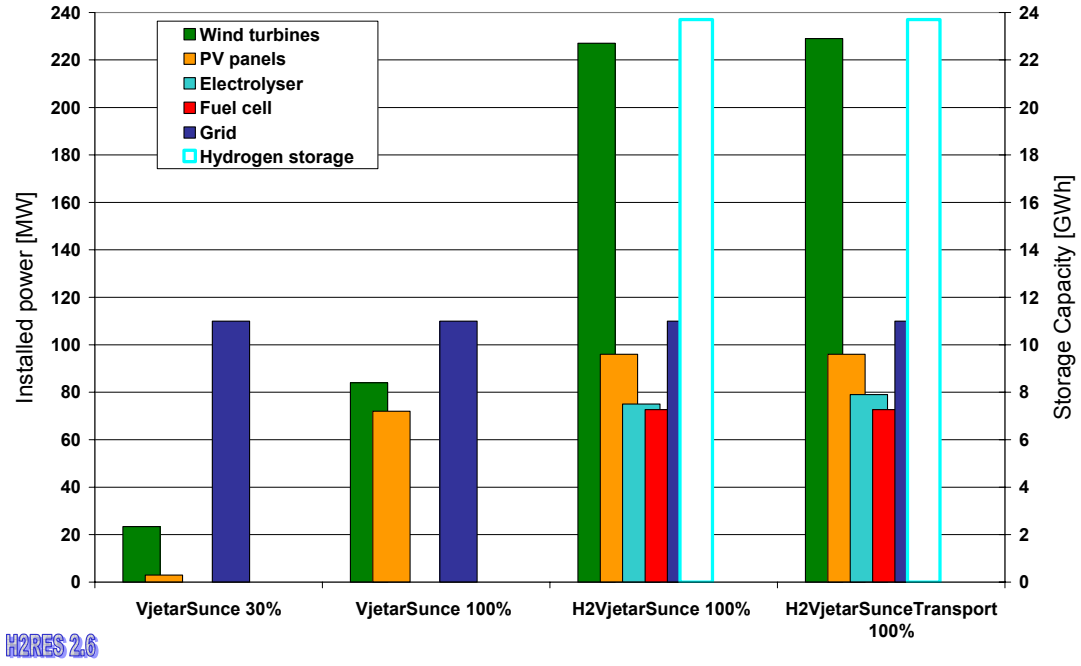


Slika 75. Snaga instaliranih komponenti za scenarije 30% i 100% u 2015. godini

Pri modeliranju nije se favoriziralo niti vjetroturbine niti PV panele već se težilo ostvariti što više energije iz obnovljivih izvora u EES otoka, a da se zadovolje zadani uvjeti uz scenarije. Tako u scenariju VjetarSunce100% u 2010. i 2015. godini više je instalirano snage PV panela u odnosu na vjetroturbine, dok u 2020. i 2025. imamo više vjetroturbina. Razlog ovakvoj situaciji je višak vjetra tijekom zimskih mjeseci kada (zbog uvjeta 30%) ga ne možemo izvesti u mrežu. U scenarijima sa spremnikom vodika (H_2VjetarSunce100% i H_2VjetarSunceTransport100%) instalirano je znatno više vjetroturbina iz razloga što sada možemo tijekom zimskih mjeseci spremati „energiju vjetra“ (elektrolizom proizvodimo H_2) i trošiti kad nam je ona potrebna.

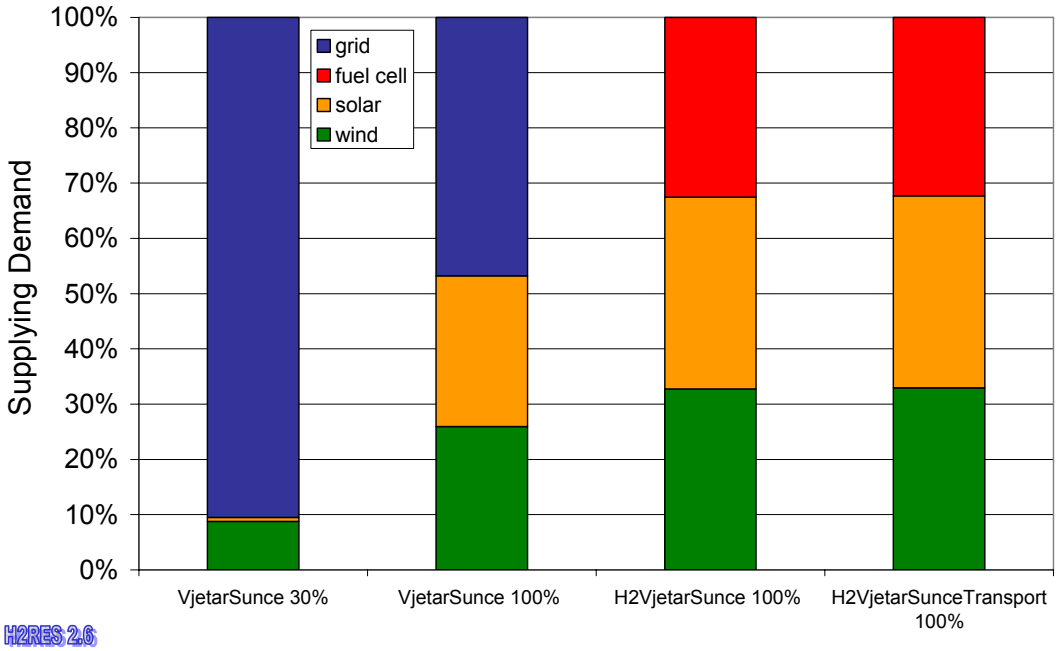


Slika 76. Snaga instaliranih komponenti za scenarije 30% i 100% u 2020. godini



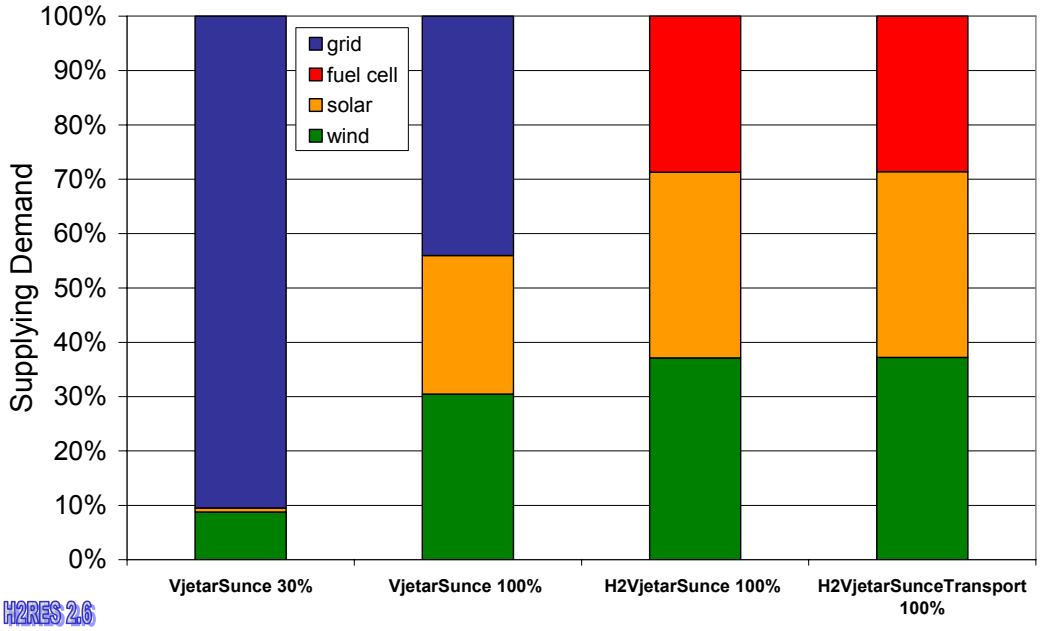
Slika 77. Snaga instaliranih komponenti za scenarij VjetarSunce30% i H_2VjetarSunceTransport 100% u 2025. godini

Od slike 78. do slike 81. dano je zadovoljavanje potrošnje u periodu od 2010. do 2025. godine. Iz slika je vidljivo da u scenariju VjetarSunce30% uz zadane uvjete (5.2.3 VjetarSunce 30% str. 57) ne možemo ostvariti više od 10 % potreba za električnom energijom iz obnovljivih izvora.



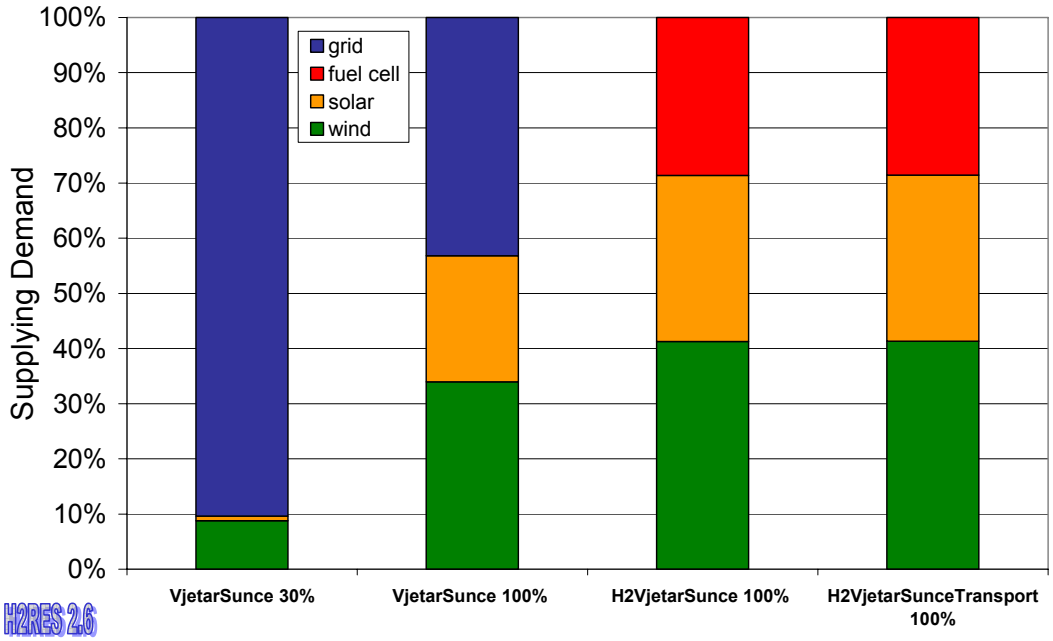
Slika 78. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2010. godini

U scenariju VjetarSunce100% uspijeva se zadovoljiti ne više od 60% potreba za električnom energijom iz obnovljivih izvora, odnosno u rasponu od 53% 2010. do 58% 2025. godine. Kako je rasla potrošnja tako se povećavao i broj instaliranih vjetroturbina, a samim time i postotak pokrivanja potrošnje iz vjetroturbina od početnih 26% do konačnih 35%.

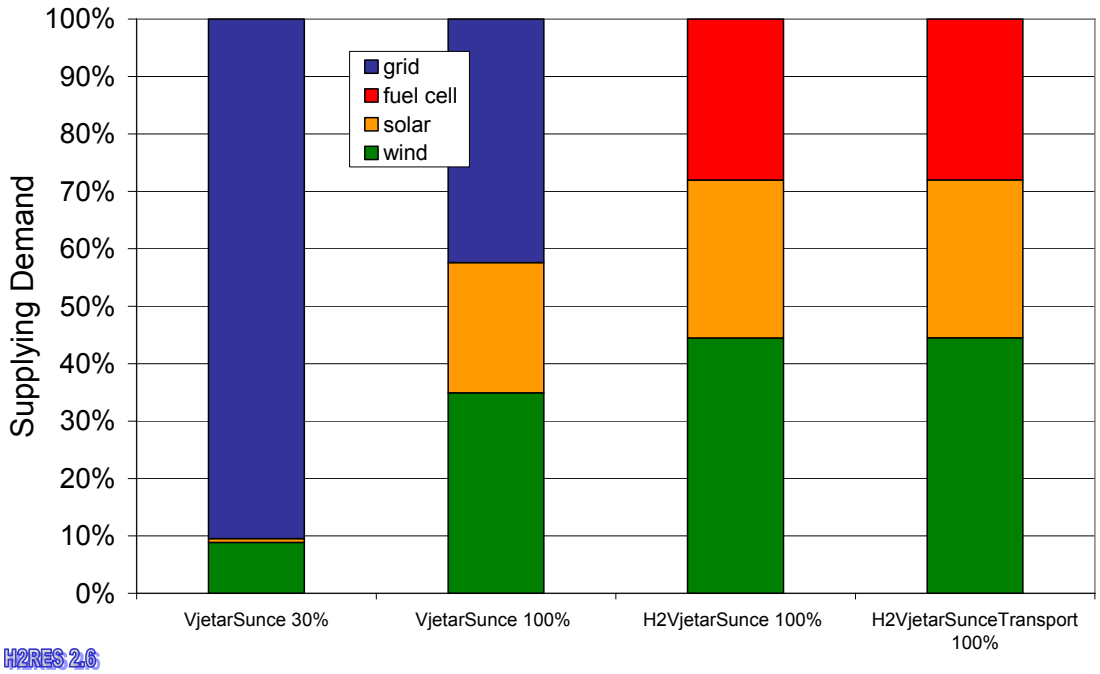


Slika 79. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2015. godini

Scenariji koji uključuju i vodikovu tehnologiju što se tiče pokrivanja potrošnje identični su, najveći postotak energije dolazi iz vjetroturbina, zatim iz PV panela, a gorive ćelije pokrivaju čak do 30% potreba.



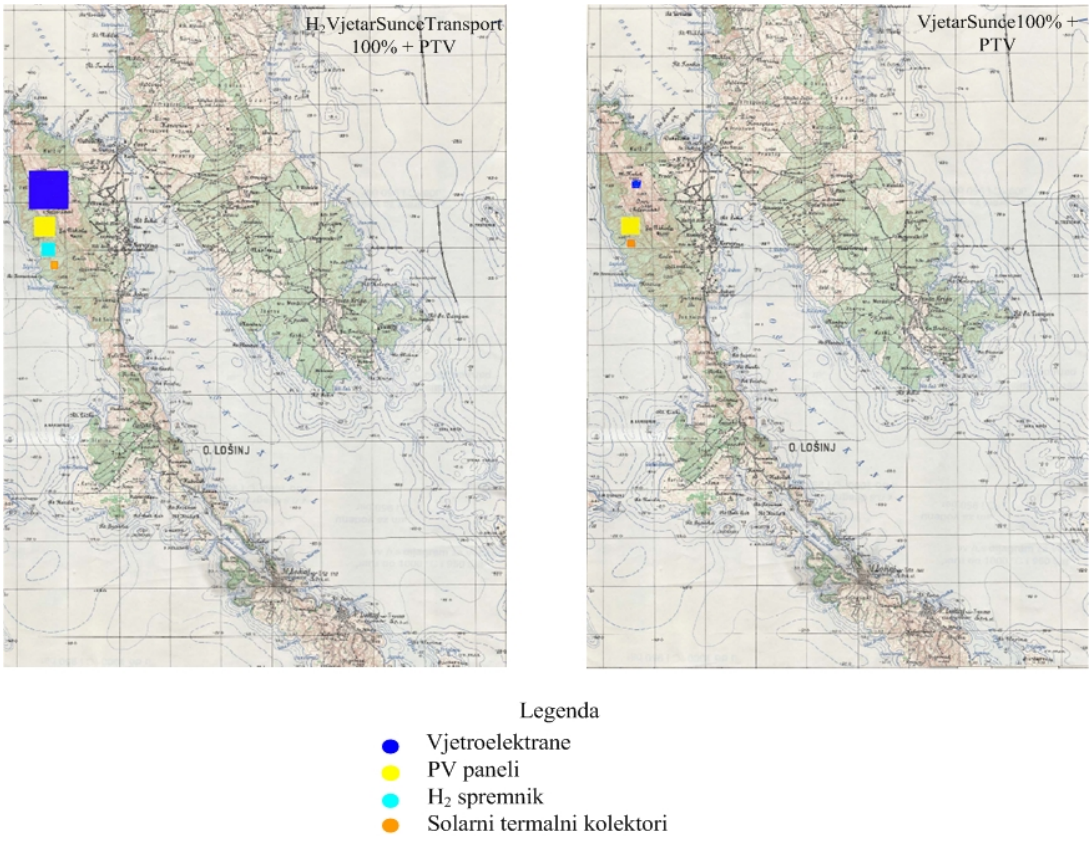
Slika 80. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2020. godini



Slika 81. Zadovoljavanje potrošnje EES za scenarije 30% i 100% u 2025. godini

6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu napravljena je analiza mogućih scenarija na otoku Lošinju. Na temelju modeliranja scenarija može se pretpostaviti u kojem je smjeru moguć razvoj Lošinja kao „zelenog otoka“, odnosno koje je scenarije eventualno moguće realizirati. Scenariji koji žele osigurati zadovoljavanje potrošnje u potpunosti iz obnovljivih izvora, uz naravno gorive ćelije, elektrolizer i spremnik vodika moguće je realizirati na manjim otocima, sa manjim brojem stanovnika i velikim intermitentnim potencijalom. Lošinj je što se toga tiče specifičan slučaj. Mali Lošinj najveće je naselje na otoku Lošinju, a ujedno i na Jadranskim otocima. Prilikom mapiranja resursa na vidjelo je izašao podatak o relativno maloj prosječnoj godišnjoj brzini vjetra. Zapravo on je na granici ekonomske isplativosti s prosječnom godišnjom brzinom od 4.6 m/s (na brdu Osoršćica). Naime lokacija s prosječnom brzinom vjetra od 5.5 m/s [20 km/h], visinom kućišta vjetroturbinskog generatora (huba) od 30 m i snagom od 150 W/m^2 smatra se da je ekonomski isplativa [36]. Također pitanje prostora je izuzetno važno, za smještaj vjetroturbina obično se uzima da je za 1 MW instalirane snage potreban 1 hektar površine (10000 m^2/MW). Naravno cilj je postići optimalni razmještaj vjetroturbina unutar vjetroparka, te se smatra da optimalni razmak između redova vjetroturbina iznosi 8 do 12 promjera u smjeru vjetra i 1.5 do 3 promjera u kontra smjeru [37] (prikaz površina za 2025. godinu za scenarij H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV i scenarij VjetarSunce100% + PTV dan je na slici 82.) Zimi dok je potrošnja električne energije manja vjetra ima viška, dok ljeti kad je potrošnja veća vjetra nema dovoljno. Iz ovog razloga ako se želi postići 100 postotno zadovoljavanje potrošnje električne energije iz obnovljivih izvora potrebno je instalirati velik broj vjetroturbina, a kapacitet vodikova spremnika također mora biti velik. Na temelju ovih podataka teško je očekivati mogućnost ostvarenja Lošinja kao „100% obnovljivog otoka“ (nema uvoza električne energije iz mreže s kopna). Da bi ostvarili ovaj scenarij ne može se samo zaustaviti na korištenju obnovljivih izvora energije nego je potrebno uvesti i mjere štednje energije, povećati efikasnost u proizvodnji energije [38]. Primjerice da bi pokrili potrošnju 2010. potrebno je instalirati 74 MW vjetroturbina, 53.1 MW_p i 24.078 MW gorivih ćelija. Što je ukupno 150 MW, da bi osigurali godišnju potrošnju od 123 GWh. Usporedbe radi Plomin 1 od 120 MW godišnje daje 452 GWh. Upravo iz ovih razloga scenarij VjetarSunce30% i VjetarSunce100% uz instalaciju solarnih termalnih kolektora nameću se kao dva i to vrlo realna i ostvariva scenarija.



Slika 82. Površina koju bi zauzele vjetroturbine, PV paneli, solarni termalni kolektori i H_2 spremnik u scenariju H_2VjetarSunceTransport100%+PTV i VjetarSunce100% + PTV

Modeliranje PTV scenarija pokazalo je izrazito zanimljive rezultate. Na Lošinju prema popisu iz 2001. godine ima 7007 stanova. Ako se uzme jednostavna pretpostavka da vrijedi omjer 1stan = 1kuća (kako je riječ o otoku) i da je prosječna površina krova približno 100 m^2 slijedi da imamo površinu od 700700 m^2 raspoloživu za instaliranje solarnih termalnih kolektora ili PV panela. Da bi 2010. zadovolji 20% potreba za PTV-om potrebno je 21900 m^2, a da bi 2025. postigli 80% zadovoljavanje potrošnje PTV-a potrebno je 74000 m^2. I ovo je prvi korak koji je potrebno napraviti želi li se uopće razmišljati o Lošinju kao „zelenom otoku“. Upravo iz ovog razloga pri modeliranju scenarija sa 100 postotnim dozvoljenim potencijalom iz intermitentnih izvora uzeto je u obzir smanjenje potrošnje električne energije zbog upotrebe solarnih termalnih panela.

Scenarijem VjetarSunce30% moguće je uz navedene uvjete (poglavlje 7.3.3 str 61.) zadovoljiti do 10% potreba za električnom energijom, a scenarijem VjetarSunce100% uz instalirane solarne termalne kolektore moguće je zadovoljiti preko 40% potreba za električnom energijom. S donesenim novim zakonima, koji reguliraju tržište obnovljivim

izvorima energije sasvim je realno da se i u Hrvatskoj u većoj mjeri krene investiranje u obnovljive izvore energije kako u samu tehnologiju tako i u potencijalno moguće lokacije. Upravo se na primjeru Danske može vidjeti kako odgovarajuće političke mjere mogu potaknuti razvoj na području energetike. Danska danas ima 420 kompanija koje se baziraju na energetskoj efikasnosti i obnovljivim izvorima energija i u tom sektoru proizvodnje energije i zaštite okoliša zapošljava čak 60 tisuća radnika. Iz ovoga slijedi da korištenjem energije vjetra i Sunca možemo u znatnoj mjeri smanjiti ovisnost otoka o uvozu električne energije, smanjiti emisije stakleničkih plinova, a također otvoriti i nova radna mjesta.

7. LITERATURA

[1] Cipriano Marin, Louis Manuel Alves, Arthouros Zervos, 100% RES, A challenge for Island Sustainable Development (2005)

[2] Energija, Časopis Hrvatske elektroprivrede, Zagreb 2005, Br. 2

[3] Myths and facts about wind energy http://www.embracewind.com/myths.html#10

[4] The Economist, 11. Ožujak 2007-03-14, www.economist.com

[5] Ewea, Response To The European Commission's Green Paper: A European Strategy For Sustainable, Competitive And Secure Energy (2006)

[6] Eko Revija, Glasilo Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost, Godište II – Broj 8, Srpanj 2006.

[7] Natko Urli, Kako je jedan od najperspektivnijih izvora električne energije 21. stoljeća ostao neprepoznat u Hrvatskoj, Zagreb (2006)

[8] ENWIND; program korištenja energije vjetra, Energetski institute "Hrvoje Požar", Zagreb, Travanj 1998.

[9] Horia Andrei, Valentin Dogaru -Ulieru, Gianfranco Chicco, Costin Cepisca, Filippo Pertino, Photovoltaic applications, Journal of Materials Processing Technology 181 (2007) 267-273

[10] Alvin Bergen, Thomas Schmeister, Lawrence Pitt, Andrew Rowe, Nedjib Djilali, Peter Wild, Development of a dynamic regenerative fuel cell system, Journal of Power Sources 164 (2007) 624–630

[11] Monika Adsten, Bengt Perers, Ewa Wäckelgård, The influence of climate and location on collector performance, 25 (2002) 499–509

[12] Mikhail Granovskii, Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen, Greenhouse gas emissions reduction by use of wind and solar energies for hydrogen and electricity production: Economic factors, International Journal of Hydrogen Energy

[13] CUTE: Clean Urban Transport for Europe: Detailed Summary of Achievements

[14] Derek W. Hengeveld, Shripad T. Revankar, Economic analysis of a combined heat and power molten carbonate fuel cell system, Journal of Power Sources 165 (2007) 300–306

[15] Joeri Van Mierlo, Gaston Maggetto, Philippe Lataire, Which energy source for road transport in the future? A comparison of battery, hybrid and fuel cell vehicles, Energy Conversion and Management 47 (2006) 2748–2760

[16] Büre r M. et al, Description of system configurations and model design, results and analysis for selected integrated RES/H2 systems and H2 end-uses, Deliverable 2

Renewislands project, 366 pp., (2005)

[17] Goran Krajačić, Energy planning of the The Island of Mljet with maximized penetration of renewable energy, Graduation thesis, FSB-UZ, 2004, (in Croatian), http://powerlab.fsb.hr/gkrajacic/

[18] Goran Krajačić, Neven Duić, Carvalho M., Maximization of renewable energy sources in energy supply of The Island of Mljet

[19] Henrik Lund, Neven Duić, Goran Krajačić, Maria da Graca Carvalho, Two energy system analysis models: A comparison of methodologies and results, Energy 32 (2007) 948–954

[20] REpower systems, The 5-megawatt power plant with 126 meter rotor diameter, http://www.repower.de/fileadmin/download/produkte/RE_PP_5M_uk.pdf

[21] Vestas, V90-1.8 MW & 2 MW, http://vestas.com/NR/rdonlyres/70AD9027-8A8A-4046- 9639-A9890870C56C/0/V90_2_UK.pdf

[22] Branko Fučić, Apsyrtides, Mali Lošinj (1995)

[23] Urbanistički studio Rijeka d.o.o. – Grad Mali Lošinj: prostorni plan uređenja, (2006)

[24] GIS Assessment of Solar Energy Resource in Europe, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm

[25] Advanced Decentralised Energy Generation Systems in Western Balkans http://powerlab.fsb.hr/adeg/valuesn.php

[26] Maja Božičević Vrhovčak: Višekriterijska analiza obnovljivih izvora električne energije, Doktorska disertacija, Zagreb, (2005)

[27] Zekai Şen, Solar energy in progress and future research trends, Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 367–416

[28] Meteonorm, http://www.meteotest.ch/en/mn_home?w=ber

[29] Solarna Tehnologija, Godina II, broj 4, jesen 2006.

[30] ABB; XLPE Submarine Cable Systems;

[31] ABB; XLPE Cable Systems

[32] Hydrogen Status og muligheter, Bellona rapport nr. 6 – 2002

[33] Chunto Tso, Shih-Yun Chang, A viable niche market—fuel cell scooters in Taiwan, International Journal of Hydrogen Energy 28 (2003) 757 – 762

[34] Prostorni plan uređenja grada Cresa, (2002)

[35] Ljubomir Majdandžić, Simulacija rada solarnog sustava za pripremu potrošene tople vode, Zagreb, (1999)

[36] G.M. Joselin Herbert, Selvaraj Iniyan, E. Sreevalsan, S. Rajapandian, A review of wind energy technologies 11 (2007) 1117-1145

[37] S.A. Grady, M.Y. Hussaini, M.M. Abdullah, Placement of wind turbines using genetic algorithms, 30 (2005) 259–270

[38] Henrik Lund, Renewable energy strategies for sustainable development, Energy 32 (2007) 912–919

DODATAK

Instalirana snaga 2010.						
	Vjetroturbine [MW]	PV paneli [MW]	Elektrolizer [MW]	Gorive ćelije [MW]	Veza s kopnom [MW]	Spremnik za vodik [GWh]
VjetarSunce 30%	5.7	0.75	0	0	40	0
VjetarSunce 100% + PTV	24	31.5	0	0	40	0
H_2VjetarSunce 100% + PTV	72	53.1	35	24.078	40	7.98
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	74	53.1	35	24.078	40	8.055

Instalirana snaga 2015.						
	Vjetroturbine [MW]	PV paneli [MW]	Elektrolizer [MW]	Gorive ćelije [MW]	Veza s kopnom [MW]	Spremnik za vodik [GWh]
VjetarSunce 30%	9.2	1.5	0	0	40	0
VjetarSunce 100% + PTV	39	41.55	0	0	40	0
H_2VjetarSunce 100% + PTV	112	75	40	35.519	40	10.8
H_2VjetarSunce Transport 100% + PTV	114	75	40	35.519	40	10.95

Instalirana snaga 2020.						
	Vjetroturbine [MW]	PV paneli [MW]	Elektrolizer [MW]	Gorive ćelije [MW]	Veza s kopnom [MW]	Spremnik za vodik [GWh]
VjetarSunce 30%	14.7	2.250	0	0	70	0
VjetarSunce 100% + PTV	59	51	0	0	70	0
H_2VjetarSunce 100% + PTV	157	80.25	58	51.087	70	15.9
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	159	80.25	58	51.087	70	16.02

Instalirana snaga 2025.						
	Vjetroturbine [MW]	PV paneli [MW]	Elektrolizer [MW]	Gorive ćelije [MW]	Veza s kopnom [MW]	Spremnik za vodik [GWh]
VjetarSunce 30%	23.350	3	0	0	110	0
VjetarSunce 100% + PTV	84	72	0	0	110	0
H_2VjetarSunce 100% + PTV	227	96	75	72.642	110	23.7
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	229	96	79	72.642	110	23.7

Zadovoljavanje potrošnje 2010.					
	Vjetroturbine [MWh]	PV paneli [MWh]	Gorive ćelije [MWh]	Veza s kopnom [MWh]	Ukupno [MWh]
VjetarSunce 30%	10949.1	907.2	0	112955.8	123197.2
VjetarSunce 100% + PTV	31935.9	33631.9	0	57629.3	123197.2
H_2VjetarSunce 100% + PTV	40336.3	42799	40061.8	0	123197.2
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	40609.6	42799	39788.6	0	123197.2

Zadovoljavanje potrošnje 2015.					
	Vjetroturbine [MWh]	PV paneli [MWh]	Gorive ćelije [MWh]	Veza s kopnom [MWh]	Ukupno [MWh]
VjetarSunce 30%	17607.1	1814.5	0	181589.7	181735.6
VjetarSunce 100% + PTV	55347.3	46375.1	0	80013.1	181735.6
H_2VjetarSunce 100% + PTV	67449.5	62130.6	52155.4	0	181735.6
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	67633.4	62130.6	51971.6	0	181735.6

Zadovoljavanje potrošnje 2020.					
	Vjetroturbine [MW]	PV paneli [MW]	Gorive ćelije [MW]	Veza s kopnom [MW]	Ukupno [MWh]
VjetarSunce 30%	28426.5	2721.7	0	292582.5	261388.7
VjetarSunce 100% + PTV	88754.7	59708.9	0	112925	261388.7
H_2VjetarSunce 100% + PTV	107883.7	78677.8	0	74827.2	261388.7
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	108052	78677.8	0	74658.8	261388.7

Zadovoljavanje potrošnje 2025.					
	Vjetroturbine [MW]	PV paneli [MW]	Gorive ćelije [MW]	Veza s kopnom [MW]	Ukupno [MWh]
VjetarSunce 30%	46099.6	3629	0	471643	371674.7
VjetarSunce 100% + PTV	129708.7	84439.1	0	157526.9	371674.7
H_2VjetarSunce 100% + PTV	165356.3	102054.7	104263.6	0	371674.7
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	165499.2	102054.7	104120.7	0	371674.7

Izvezena energija				
	2010.	2015.	2020.	2025.
VjetarSunce 30%	0	0	0	0
VjetarSunce 100% + PTV	26975.8	43604.8	63382.1	91484.7
H_2VjetarSunce 100% + PTV	60207.7	97687.4	140159.3	211490.6
H_2VjetarSunceTransport 100% + PTV	62638.3	98351.3	142040.8	211682

Zadovoljavanje potrošnje za PTV scenarij				
	2010.	2015.	2020.	2025.
Solarni termalni kolektori [MWh]	3059.5	7745.9	14554.9	24853.39