Expert-system for an INtelligent Supply of Thermal Energy in INdustry

Vodnik za termične energetske preglede E I N S T E I N

Podprto s strani Inteligentne Energije Evrope (IEE)
(Št. pogodbe: EIE/07/210/S12.466708)

Koordinator projekta:	Prof. Dr. Hans Schnitzer JOANNEUM RESEARCH - Institute for Sustainable Techniques and Systems, Austria
Partnerji:	Joanneum Research (Avstria); DMA – Sapienza University of Rome (Italija); Faculteta kemijo in kemijsko tehnologijo - Univerza v Mariboru (Slovenija); Austrian Energy Agency (Austria); Enviros s.r.o. (Češka); Punto Energia (Italija); Steng-nacionalni center za čistejšo proizvodnjo d.o.o. (Slovenija); KAPE S.A.(Polska); energyXperts.BCN (Španija); Cámara de Comercio de Madrid (Španija); COGEN Europe (Belgija); Ajuntament de Sabadell (Španija)
Internetna stran:	www.iee-einstein.org

Vodnik za termične energetske preglede EINSTEIN

Različica: osnutek v0.15
Zadnje spremembe: 01/08/2008

Koordinator:
Hans Schweiger
energyXperts.BCN, Barcelona, Španija

Avtorji :

Avtorji	Ustanova/Podjetje	Avtorji posameznih poglavij	E-naslovi
Hans Schweiger Stoyan Danov	energyXperts.BCN, Španija	1, 2.1-2.4, 3.1-3.4, 3.5.1-3.5.3, 3.5.5-3.5.6,3.6.1-3.6.4, 3.7.5,3.8, 3.10-3.12, 4.1, 4.4	hans.schweiger@energyxperts.net stoyan.danov@energyxperts.net
Claudia Vannoni Enrico Facci	University of Rome, Italija	1, 2.1-2.4, 3.5.1-3.5.3, 3.6.1-3.6.2, 3.7.5, 4.2, 4.4	claudia.vannoni@uniroma1.it
Bettina Slawitsch Christoph Brunner	Joanneum Research, Avstria	2.5-2.6, 3.5.4, 3.7.1-3.7.4, 3.9, 4.3	bettina.slawitsch@joanneum.at christoph.brunner@joanneum.at
Damjan Krajnc	Univerza v Mariboru, Slovenija	3.5.4, 3.6.5	dkrajnc@uni-mb.si
Konstantin Kulterer	Austrian Energy Agency, Avstria	3.1	konstantin.kulterer@energyagency.at
Thomas Bouquet Stefan Craenen	COGEN Europe	3.7.5.3	thomas.bouquet@coneneurope.eu stefan.craenen@cogeneurope.eu

---

Celotni naslov projekta: Expert-system for an INtelligent Supply of Thermal Energy in INdustry
Acronim projekta: EINSTEIN
Številka pogodbe: EIE/07/210/S12.466708
Koordinator projekta: Prof. Dr. Hans Schnitzer
JOANNEUM RESEARCH - Institute for Sustainable Techniques and Systems
Elisabethstrasse 16, A-8010 Graz (Austria)
e-naslov: hans.schnitzer@joanneum.at

Licenca: Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 3.0 Unported License. Za vpogled v licenco, obiščite spletno stran http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/

To publikacijo lahko brezplačno:

-kopirate, distribuirate in prenašate.

-priredite.

Pod naslednjimi pogoji:

Pripisovanje. You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor (but not in any way that suggests that they endorse you or your use of the work).

Brezplačno. Uporaba orodja je izključno nekomercialna.

Share Alike. Če spreminjate, preoblikujete ali nadgradite, lahko distribuirate le in samo ob podobni licenci oziroma pod isto licenco.

Zavrnitev

Odgovornost za vsebino objave je izključno na strani avtorjev. Ne odraža mnenja Evropske Komisije. Evropska Komisija ni odgovorna za uporabo informacij, ki so zapisane v tem vodniku.

Priznanja

EINSTEINO-va metodologija in računalniško orodje sta bila razvita v okviru evropskega projekta “EINSTEIN (expert-system for an intelligent supply of thermal energy in industry)” s sofinanciranjem s strani Evropske Komisije.

Delno sta bila razvita tudi s podporo *Generalitat de Catalunya* (Španija) Departament d’Educació i Universitats. Grant *Beatriu de Pinòs* No. 2006 BP-B2 0033.

Kazalo

Uvod ... 9

1 Metodologija EINSTEIN za termične energetske preglede – osnove ... 10

1.1 Toplotna energija v industriji ... 10
1.2 Področje uporabnosti ... 11
1.3 Celosten pristop k energetski učinkovitosti ... 11
1.4 Prednosti energetskih pregledov po metodologiji EINSTEIN ... 12
1.5 Računalniško orodje EINSTEIN ... 13
1.6 Pregled vsebine vodnika ... 14

2 $E = m \cdot c^2$. Teoretični koncepti EINSTEIN-a ... 15

2.1 Energija, energijska učinkovitost in obnovljivi viri ... 15
2.1.1 Raba energije po vrstah in načinu rabe ... 15
2.1.2 Obnovljivi viri energije ... 15
2.1.3 Raba energije v industriji in njen vpliv na okolje ... 16
2.1.4 Strategije znižanja rabe energije na strani dobave in rabe energije ... 16
2.2 Energijski tokovi v industriji – definicije ... 18
2.2.1 Raba končne in primarne energije ... 21
2.2.2 Uporabna dobava toplote in hladu (USH/C) ... 22
2.2.3 Uporabna procesna toplota in hlad (UPH/C) ... 22
2.2.4 Razpoložljiva odpadna toplota (QWH) in rekuperirana odpadna toplota (QHX) ... 23
2.3 Temperaturni nivoji in dobava toplote ... 24
2.4 Procesni modeli in krivulje potreb ... 25
2.4.1 Procesni modeli ... 25
2.4.2 Poenostavitev podatkov za hitri energetski pregled po EINSTEIN-u ... 27
2.4.3 Profili standardnih potreb ... 27
2.5 Toplotna integracija in uščipna analiza ... 28
2.5.1 Analiziranje proizvodnega procesa z analizo uščipa ... 28
2.5.2 Nekaj primerov integracije sistemov zunajih toplotnih virov z veliko sestavljeno krivuljo 31
2.5.3 Načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov ... 32
2.5.4 Vpliv ΔT_{min} na analizo uščipa ... 33
2.6 Analiza celotnih stroškov (TCA – Total Cost Assessment) ... 34

3 EINSTEIN kot orodje za energetski pregled ... 37

3.1 Prvi kontakt: motivirati ... 39
3.1.1 Prvi stik po telefonu ali po pošti ... 39
3.1.2 Prvi sestanek (neobvezno) ... 39
3.2 Pridobivanje podatkov ... 41
3.2.1 Priprava podjetja ... 41
3.2.2 Priprava izvajalca energetskega pregleda ... 42
3.2.3 Osnovni vprašalnik za zbiranje podatkov na daljavo ... 42
3.3 Priprava na obisk: Analiziranje prvih podatkov ... 43
3.3.1 Analiziranje prvih podatkov ... 43
3.3.2 Dodatne informacije iz telefonskega pogovora ... 43
3.3.3 Pridobitev podatkov za primerjavo (benchmarking) ... 43
3.3.4 Pridobitev osnovnega znanja za določeno industrijo ... 43
3.3.5 Prepoznavanje možnih ukrepov ... 44
3.3.6 Seznam prioritet za nadaljna poizvedovanja in zbiranje podatkov ... 44

3.4 Hitra in groba ocena ... 45
3.4.1 Kako izvesti prvo poročilo hitro &grobo raziskave? ... 45
3.4.2 Na začetku ne obljubljajte preveč! ... 45
3.5 Obisk podjetja (ali alternativno: drugo zbiranje podatkov na daljavo) ... 46
3.5.1 Neobvezno: predstavitev in razprava o prvem poročilu hitre in grobe raziskave ... 46
3.5.2 Intervjuji in ogled proizvodnje za natančnejšo zbiranje podatkov ... 46
3.5.2.1 Zbiranje podatkov v pisarni podjetja ... 46
3.5.2.2 Ogled proizvodnje ... 48
3.5.3 Hitro preverjanje doslednosti in popolnosti že na ogledu ... 48
3.5.4 Meritve med ogledom ... 49
3.5.5 Program meritev ... 50
3.5.6 Razprava po ogledu podjetja ... 50
3.6 Analiza dejanskega stanja ... 51
3.6.1 Preveritev doslednosti in popolnosti podatkov ... 51
3.6.2 Pridobivanje manjkajočih podatkov ... 53
3.6.3 Podrobna razčlenitev potreb ... 54
3.6.4 Analiza dejanskega obratovanja obstoječe opreme ... 55
3.6.5 Primerjava (benchmarking) ... 56
3.6.5.1 Kaj so primerjave? ... 56
3.6.5.2 Klasifikacija kazalnikov na referenčne vrednosti ... 56
3.6.5.3 Klasifikacija po vrsti energije ... 56
3.6.5.4 Postopek primerjav z EINSTEIN-om ... 57
3.6.5.5 Viri podatkov za primerjalno analizo ... 57
3.7 Konceptualno načrtovanje ukrepov in ciljne rabe energije ... 59
3.7.1 Optimiranje procesa: seznam učinkovitih tehnologij za procesne operacije, možnosti prihrankov rabe energije ... 60
3.7.2 Prvo načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov in shranjevanja ... 62
3.7.3 Načrtovanje alternativnih sistemov dobave (vključno s spremembami vrste goriva in spremembami distribucijskega sistema) ... 67
3.7.3.1 Skladiščenje toplote in hladu ... 68
3.7.3.2 Energijsko učinkovita distribucija toplote in hladu ... 69
3.7.3.3 Soproizvodnja električne energije in toplote (CHP - Combined Heat and Power) 70
3.7.3.4 Toplotne črpalke ... 71
3.7.3.5 Sončna energija ... 72
3.7.3.6 Biomasa in bioplin ... 75
3.7.3.7 Energijsko učinkoviti kotli in gorilniki ... 77
3.7.3.8 Energijsko učinkovita proizvodnja hladu ... 78
3.8 Izračun eneregijske učinkovitosti in okoljska analiza ... 80
3.8.1 Hitri izračun ... 80
3.8.2 Simulacija sistema z dodatnimi računalniškimi programi ... 81
3.8.3 Okoljske analize ... 81
3.9 Ekonomska in finančna analiza ... 82
3.10 Poročanje in predstavitev ... 84
3.10.1 Vsebina poročila ... 84
3.10.2 Predstavitev v podjetju ... 84
3.11 Skupno učenje ... 85
3.11.1 Svoje izkušnje delimo z drugimi ... 85
3.11.2 Pomoč za izboljšanje metodologije in EINSTEIN računalniškega orodja ... 85
3.11.3 Postati EINSTEIN-ov razvojnik ... 85
3.12 Spremljanje ... 86
3.12.1 Od pregleda do namestitve novega sistema ... 86
3.12.2 Napovedi in dejansko delovanje novih sistemov ... 86

4 Primeri ... 87

4.1 Celotna metodologija ... 87

4.1.1 EINSTEIN korak 1: Motiviranje ... 87
4.1.2 EINSTEIN korak 2: Zbiranje podatkov ... 87
4.1.3 EINSTEIN korak 3: Analiza prvih informacij ... 88
4.1.4 EINSTEIN korak 4: Hitra in groba prva ocena ... 89
4.1.5 EINSTEIN korak 5: Obisk podjetja ... 89
4.1.6 Einstein korak 6: Analiza dejanskega stanja ... 89
4.1.7 EINSTEIN korak 7: Konceptualno načrtovanje ukrepov ... 90
4.1.7.1 Optimiranje procesa ... 90
4.1.7.2 Rekuperacija odpadne toplote ... 90
4.1.7.3 Dobava toplote ... 90
4.1.8 EINSTEIN korak 8: Izračuni energijske učinkovitosti ... 91
4.1.9 EINSTEIN korak 9: Ekonomsko vrednotenje in finančna analiza ... 91
4.1.10 EINSTEIN korak 10: Poročilo in predstavitev ... 92
4.2 Preverjanje doslednosti in popolnosti podatkov ... 92
4.2.1 Opis modela mlekarne ... 92
4.2.1.1 Procesi ... 92
4.2.1.2 Dobava in distribucija toplote ... 94
4.2.1.3 Osnovni primer: razdelitev rabe energije z EINSTEIN računalniškim orodjem. .. 94
4.2.2 Odkrivanje nedoslednosti v podatkih ... 95
4.2.2.1 Nasprotujoča si podatka, ki določata isto vrednost ... 95
4.2.2.2 Splošna nasprotja sistemskih podatkov ... 96
4.2.3 Popolnost podatkov z EINSTEIN-om ... 96
4.2.3.1 Raba procesne toplote je poznana le za glavne proizvodne procese ... 96
4.2.3.2 Neznana skupna potrebna toplota ... 97
4.2.3.3 Neznani sta vrednosti celotne potrebne toplote in tehnični podatki kotlov ... 97
4.2.4 Uporaba ocenjenih vrednosti ... 97
4.3 Rekuperacija odpadne toplote: Mlekarna ... 98
4.3.1 Procesna shema in opis procesa ... 98
4.3.2 Vnašanje procesnih podatkov v EINSTEIN ... 99
4.3.3 Izračun rekuperacije odpadne toplote ... 101
4.3.4 Rezultati ... 102

“It is not enough that you understand about applied science in order that your work may increase man's blessings. Concern for man himself and his fate must always form the chief interest of all technical endeavors, concern for the great unsolved problems of the organization of labor and the distribution of goods - in order that the creations of our minds shall be a blessing and not a curse to mankind. Never forget this in the midst of your diagrams and equations.”

Albert Einstein

Iz govora študentom kalifornijskega Instituta za tehnologijo, 1931.

Uvod

Potreba po toplotni energiji v industriji predstavlja 20 % od celotnih potreb po energiji v Evropi. Čeprav se je učinkovita raba energije izboljšala, še vedno obstaja znaten zniževanja rabe energije z inteligentno kombinacijo obstoječih rešitev in tehnologij. Pri optimiranju dobave toplotne energije je potreben celostni pristop, ki vključuje tako možnosti znižanje potreb z rekuperacijo in kot integracijo procesa. Prav tako lahko optimiramo z inteligentno kombinacijo že obstoječih tehnologij za dobavo toplote (in hladu) z določenimi ekonomskimi omejitvami.

EINSTEIN-ova metodologija za termične energetske preglede, opisana v tem vodniku, je bila razvita s podporo programa Inteligentna Energija Evrope – IEE projekta EINSTEIN. Ta projekt je sad predhodnih sodelovanj projektnih partnerjev *Joanneum Research (Avstrija)*, *University of Rome (Italija)* in *energyXperts.BCN (Španija)* med leti 2003 in 2007 v okviru IEA (International Energy Agency) Solar Heating and Cooling and SolarPACES Programmes, Task 33/IV on Solar Heat for Industrial Processes (www.iea-ship.org). Osnovni elementi in koncepti metodologije so bili zastavljeni in oblikovani v okviru projekta POSHIP – The Potential of Solar Heat for Industrial Proces (5th Framework Programme) in avstrijskega nacionalnega projekta PROMISE (Produzieren mit Sonnenenergie).

Eden izmed zanimivih konceptov raziskovalne skupine IEA of Task 33/IV je bilo interdisciplinarno sodelovanje strokovjakov za tehnologije obnovljivih virov (solarne energije) in procesnih inženirjev. Projektni partnerji so ugotovili, da primanjkuje primernih orodij za termične energetske preglede, ker:

- kompleksnost problema optimiranja dobave toplotne energije zahteva znanja procesnih tehnologij, tehnik procesne integracije in rekuperacije toplote in široko poznavanje različnih tehnologij energetske učinkovitosti pri dobavi toplote in hladu, vključno z obnovljivimi viri energije.

- je to v nasprotju, tako z razpoložljivim časom za enostavni energetski pregled ali grobo študijo izvedljivosti kot tudi s pomanjkljivim znanjem sodelujočih strokovnjakov. Tako je bilo tudi s primerom projekta solarnih sistemov v okviru projekta IEA Task 33/IV. Toda problem je prej splošne narave, ker je težko eni osebi, še posebej mlajšemu tehniku, ki je vključen v energetski pregled, da imel široko znanje o različnih tehnologijah in konceptih za načrtovanje celostnih in optimiranih rešitev.

Iz praktičnih izkušenj številnih izvajalcev energetskih pregledov v različnih industrijah so privedle do standardiziranih metodologij energetskih pregledov oziroma do, v tem vodniku predstavljene, metodologije EINSTEIN.

Nadalje so bila razvita številna orodja za hitro pridobivanje želenih informacij in pol-avtomatskih postopkov za potrebne izračune ter za lažje odločitve pri načrtovanju (ekspertni sistem). Ta orodja so v obliki od enostavnih preglednic do računalniških programov za reševanje določenih delov problema. Večina teh orodij je sedaj integriraniih v računalniško orodje EINSTEIN, na katerem je zasnovana metodologija EINSTEIN. Metodologija v obliki programskega orodja, ki vključuje tudi ekspertni sistem je enostavna za uporabo, lahko razšiljiva in omogoča skrajšati trajanje energetskega pregleda (in zato znižuje stroške) in tudi poveča standardiziranost in kakovost energetskega pregleda.

Računalniško orodje EINSTEIN je bilo skupaj z nekaj komplementarnih baz podatkov razvito kot brezplačni program[1]. Lahko ga skopiramo od projektnih partnerjev z internetne strani projekta ali dobimo od članov konzorcija. Tako upamo, da bo računalniški program EINSTEIN uporabljen v širokem krogu izvajalcev energetskih pregledov, inženirjev, svetovalcev in vseh, ki se ukvarjajo z dobavo toplotne energije v industriji. Želimo, da bo trenutna različica računalniškega orodja kontinuirno nadgrajevana z novimi izkušnjami vseh uporabnikov.

[1] *V angleškem, katalonskem, češkem, nemškem, italjanskem, poljskem, slovenskem in španskem jeziku.*

1 Metodologija EINSTEIN za termične energetske preglede – osnove

1.1 Toplotna energija v industriji

Potreba po toploti in hladu v industriji (preglednica 1 za leto 2002: približno 2,300 TW h/8 400 PJ) predstavlja 28 % celotne potrebe po energiji in povzroči 21 % emisij CO_2 v Evropi[2].

Preglednica 1. Potreba po končni energiji v EU v letu 2002. Vir: EU Zelena knjiga o energijski učinkovitosti.

2002	Zgradbe (gospodinjstva in poslovne zgradbe)		Industrija		Transport		Vse končne potrebe	
	Mtoe	% končne potrebe	Mtoe	% končne potrebe	Mtoe	% končne potrebe	Mtoe	% končne potrebe
Trda goriva	12,2	1,1	38,7	3,6	0,0	0,0	50,9	4,7
Kurilno olje	96,8	8,9	46,9	4,3	331,5	30,6	475,2	43,9
Zem. plin	155,6	14,4	105,4	9,7	0,4	0,0	261,5	24,2
Elek. energija (vključno 14 % iz OVE)	121,3	11,2	91,2	8,4	6,0	0,6	218,5	20,2
Daljinsko ogrevanje	22,8	2,1	7,5	0,7	0,0	0,0	30,3	2,8
Obnovljivi viri	29,0	2,7	16,2	1,5	1,0	0,1	46,2	4,3
Skupaj	437,8	40,4	306,0	28,3	338,9	31,3	1082,6	100,0

Čeprav se je učinkovitost rabe energije v zadnjem desetletju izboljšala, še vedno obstaja visok potencial zniževanja rabe energije z inteligentno kombinacijo obstoječih rešitev in tehnologij. V Zeleni knjigi za energetsko učinkovitost so možnosti prihrankov (brez soproizvodnje) ocenjene na več kot 350 TWh/1.260 PJ. [Evropska Komisija, Zelena knjiga o energetski učinkovitosti 2005]. V Akcijskem načrtu za energetsko učinkovitost, ki jo je izdelala Evropska Komisija, je navedeno, da moramo 40 % ciljev Kjotskega sporazuma doseči z energetsko učinkovitostjo, če hočemo doseči zastavljene cilje. Izboljšanje učinkovitosti ne koristi le okolju ampak je za industrijska podjetja privlačno tudi iz ekonomskega vidika. V veliko primerih je lahko vračilna doba zelo kratka in sicer od nekaj mesecev do nekaj let. V malih in srednje velikih podjetjih predstavlja energija od 3 % do 12 % proizvodnih stroškov, možnosti prihrankov pri energiji pa predstavlja med 15 % in 30 % [E-Check 2006]. Vendar ustrezne naložbe niso uresničene zaradi:

- Pomanjkanja znanja v podjetjih o možnih ukrepih za dvig energetske učinkovitosti.
- Čeprav so stroški za energijo v večini podjetji pomembni, niso prioritetni. Naložbe v energetsko učinkovitost ″tekmujejo″ z naložbami za izboljšanje proizvodnih procesov in proizvodov, kar ne vodi do izvedbe naložb.
- Večina industrijskih podjetij ne dojema energije kot ločene postavke ampak kot del proizvodnih stroškov, izpolnjevanja okoljskih predpisov, večanja varnosti in produktivnosti. Energetska učinkovitost tekmuje z ostalimi tekmeci za omejena finančna sredstva. Čeprav je kapital najpogosteje naveden kot vir uresničevanja naložb, so ustrezni kadri in njihov čas enako ali še pomembnejši. Zaradi zniževanje stroškov in reorganizacij je pomanjkanje kadrov rezultat neizvajanja naložb.
- Pomanjkanje (ali nič) denarja za izvedbo energetskega pregleda.

[2]Slika vključuje proizvodnjo električne energije v industriji. Vir: http://ghg.unfccc.int. Celotna poraba goriv v industriji in gradbeništvu v EU v letu 2002: 583.070 Mio t CO_2

- Tudi v primeru, da energetski pregled izvedejo, imajo izvajalci večinoma omejeno znanje o tehnoloških možnostih in si ne upajo oz. se ne želijo izpostavljati in predlagati netipične in inovativne rešitve.

Metodologija termičnih pregledov EINSTEIN cilja na premagovanje nekaterih zgoraj omenjenih ovir in želi prispevati k razširjeni orabi celostnih rešitev za zvišanje energetske učinkovitosti pri dobavi toplote in hladu.

1.2 Področje uporabnosti

Metodologija termičnih pregledov EINSTEIN je namenjena industrijam z visoko potrebo po toploti in hladu v nizkih in srednje visokih temperaturnih območjih (do 400 °C), kot so:

- Prehrambena industrija.
- Kovinsko predelovalna industrija.
- Lesno predelovalna industrija.
- Ostale vrste industrij (papirna, kemična, farmacevtska, tekstilna ipd.)

Prednosti EINSTEIN-a so še posebno velike v malih in srednje velikih podjetjih, kjer so stroški kvalitetno izvedenih energetskih pregledov velika ovira pri uvajanju energetsko učinkovitih tehnologij.

Čeprav se metodologija EINSTEIN osredotoča na potrebo po toploti in hladu v industriji, lahko določene dele metodologije uporabijo tudi večji porabniki toplote in hladu, ko so npr.:

- Sistemi daljinske toplote in hladu, vključno s proizvodnjo električne energije in toplote za skupino podjetij ali omrežje, v katerem so vključena tudi podjetja in drugi porabniki.

- Stavbe v terciarnem sektorju, kot so velike poslovne stavbe, nakupovalna središča, hoteli, bolnišnice, konferenčni centri, šole, toplice ipd.

- Ostale napeljave, ki rabijo termično energijo, kot so destilacija morske vode, čistilne naprave ipd.

1.3 Celosten pristop k energetski učinkovitosti

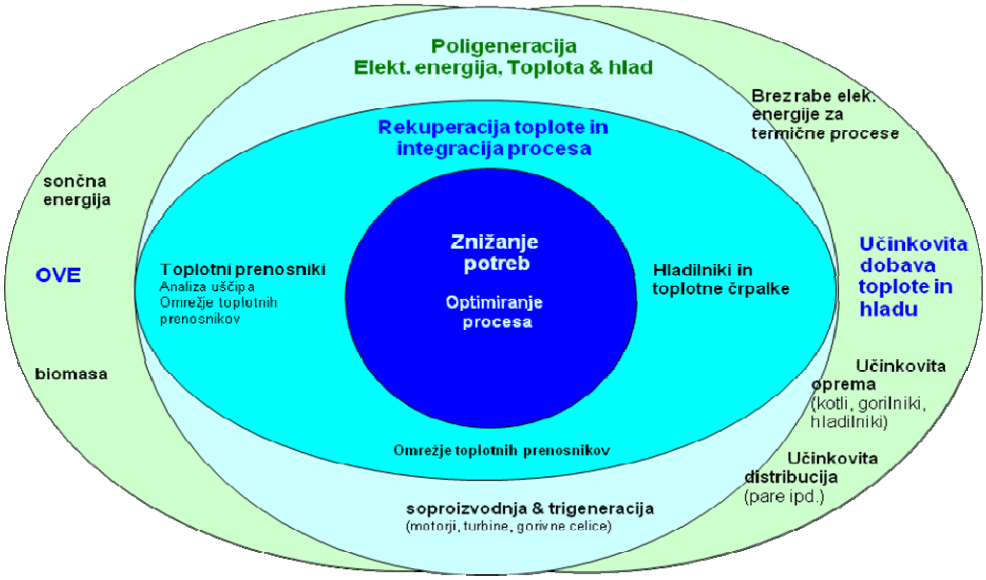
Na sliki 1 prikazan zahtevan celosten pristop k optimiranju dobave toplotne energije, ki vključuje :

- Možnosti za **znižanje potreb** z optimiranjem procesov in z uporabo konkurenčnih in energetsko manj intenzivnih tehnologij.

- **Ukrepe za energetsko učinkovitost** z rekuperacijo toplote in integracijo procesa.

- **Inteligentno kombinacijo razpoložljivih tehnologij dobave toplote in hladu** (učinkovite kotle in gorilnike, soproizvodnjo, toplotne črpalke), **vključno z uporabo obnovljivih virov energije** (še posebej je pomembna uporaba biomase in izkoriščanje sončne energije).

- Previdnost pri danih ekonomskih omejitvah.



Slika 1: Celovit pristop pri termičnih energetskih pregledih ("pogled z EINSTEIN-ovim očesom"),združen v zniževanju potreb, v rekuperaciji,v integraciji procesa in v inteligentni kombinaciji danih tehnologij.

1.4 Prednosti energetskih pregledov po metodologiji EINSTEIN

Pri znižanju rabe elek. energije pri porabnikih kot so črpalke, elektromotorji, transformatoji ipd. Imamo običajno na voljo seznam priporočljivih ukrepov, s katerimi lahko znatno znižamo porabo energije, medtem ko je optimiranje dobave in rabe toplote s termičnega vidika kompleksnejša naloga:

- V številnih podjetjih, še posebej v malih in srednje velikih podjetjih (MSP), imamo na voljo le splošne informacije o dejanski rabi energije (račune za gorivo, tehnične podatke o kotlih ipd.). Porabo v posameznih procesih ali delih procesa moramo bodisi oceniti ali določiti s pomočjo dragih in dolgotrajnih meritvah.

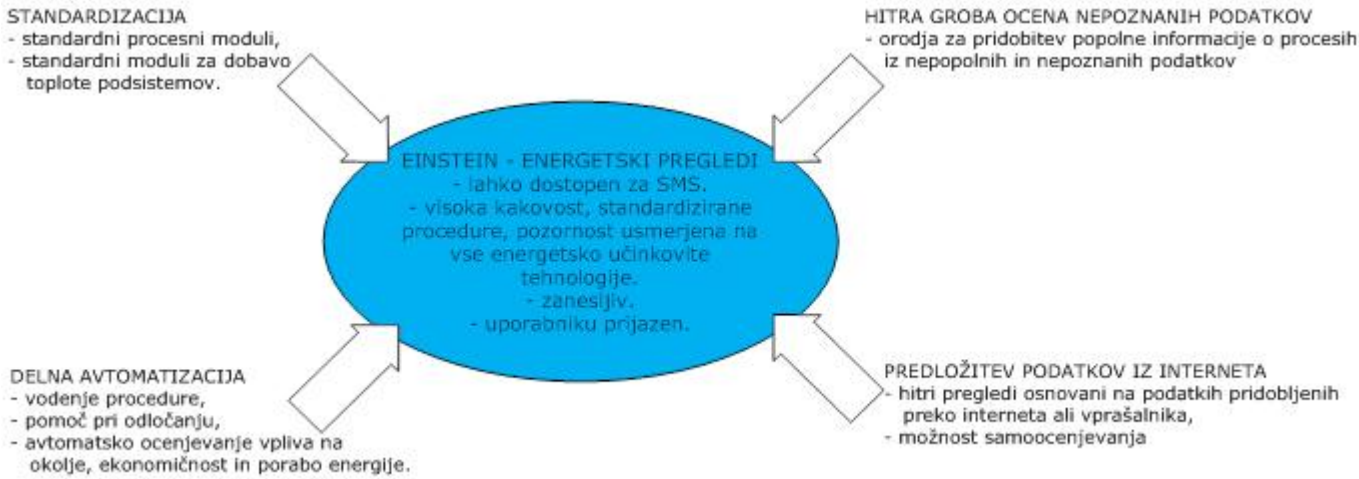
- Izkoriščanje obstoječih možnostih rekuperacije pogosto zahteva integriranje številnih procesov na različnih temperaturnih nivojih in z različnimi obratovalnimi režimi (integracija omrežja toplotnih prenosnikov in skladiščenje toplote).

- Medsebojno kombiniramo različne razpoložljive tehnologije, da dobimo optimalne rešitve.

Tehnična kompleksnost problema je v nasprotju z željo po nizkih stroških zato je potrebna metodologija hitrega ocenjevanja. To je eden izmed glavnih razlogov zakaj so možnosti prihrankov pri toplotni energiji manj raziskane kot pri električni energiji.
Da se izognemo prej navedenim oviram, uporabimo EINSTEIN orodje, ki z metodami, ki so navedene v nadaljevanju, obdela podatke in izdela predloge ukrepov. Orodje je primerno za mala in srednje velika podjetja. Potrebni čas strokovnjaka z manj izkušnjami zajema 4 do 8 ur. Glavne prednosti orodja EINSTEIN (ki so prikazane tudi na sliki 2) so:

- **Standardizacija problema in možnih rešitev:** zbiranje podatkov in podajanje predlogov za dani projekt se izvaja po standardnih modelih za procesne operacije, ki predstavljajo tipične procese v različnih vrstah industrije enis trani; po standardiziranih modulih za podsisteme dobave toplote in hladu na drugi strani.
- "**Hitre in grobe" ocene: pomaga pri ocenjevanju podatkov, ki niso na voljo ampak so nujno potrebni** za določanje potreb po toploti. V mnogih primerih lahko vsaj ocenimo podatke o potrebni toploti različnih procesov s primerjavo številnih različnih – pogosto nepopolnih in včasih le kvalitativnih – informacij, ki jih dobimo pri obiskih v podjetjih in izpraševanja tehničnega kadra. Te pogosto dolgotrajne izračune lahko občutno skrajšamo z vstavljanjem omejenega števila podatkov v standardizirane module. Na takšen način je lahko že ena ura je lahko nadomestilo za nekajurno izvajanje meritev v podjetju, vsaj za grobo vendar zadostno prvo oceno v začetni fazi pregleda.

- **Pol–avtomatizirani postopek izvajanje energetskega pregleda in podajanje predlogov**: računalniško orodje vključuje podatkovno bazo kot so npr. tehnični podatki standardnih procesnih enot ipd. Ker je v pomoč pri odločanju lahko orodje pri kompleksnejših problemih uporabljajo tudi nestrokovnjaki. Primerjave bodo uporabniku pomagale pri ocenjevanju stanja pred in po predlaganih ukrepih. Podatkovna baza vključuje hitre - ocenjevalne in standardne ukrepe. Poročila o energetskem pregledu bodo samodejno izpisana v takšni obliki, da jih bo mogoče takoj oddati naročniku, tehničnemu in vodstvenemu kadru podjetja.
- **Zbiranje podatkov bo lahko preko svetovnega spleta ali s kratkim vprašalnikom**. V začetni fazi, pri hitri in grobi oceni lahko razpolagamo le z malo podatki. Kratek vprašalnik za zbiranje podatkov je bil izdelan že v projektu POSHIP in prilagojen za potrebe energteskega pregleda s strani JR v IEA Task 33. Vprašalnik omogoča zbiranje podatkov na licu mesta oziroma ga lahko izpolnimo s telefonskim pogovorom. Vprašalnik je dosegljiv tudi na spletni strani ter ga uporabimo tudi pri samoocenjevanju.



Slika 2: Povzetek funkcij programa EINSTEIN za izvajanje hitrih in poceni, vendar visoko kvalitetnih termičnih energetskih pregledov.

1.5 Računalniško orodje EINSTEIN

Računalniško orodje EINSTEIN je sestavljeno iz računalniškega programa in vodnika za oblikovanje popolnega **ekspertnega sistema**[3] **za termične energetske preglede.** Ekspertni sistem je enostaven za uporabo in skupaj z vodnikom oblikuje **orodje za energetski pregled**, ki uporabnika vodi skozi celotni postopek od priprave obiska v podjetju, zbiranja podatkov, analiziranja podatkov do izdelave, načrtovanja in ekonomske ter okoljske ocene izbranih ukrepov.

Glavni del ekspertnega sistema računalniškega programa in vodnika je brezplačen in razpoložljiv na **spletni strani projekta EINSTEIN,** kot program z odprto kodo (www.sourceforge.net/projects/einstein). Takšen način razvoja programa s pomočjo uporabnikovih predlogov je pokazal zelo učinkovito diseminacijo znanja in kontinuirano vzdrževanje, odpravljanje napak, nadgradnjo in izboljšnje računalniškega programa [FLOSS 2002].

Računalniško orodje EINSTEIN omogoča iskanje ukrepov za ugotavljanje prihrankov pri dobavi toplotne energije in stroškov na uporabniku prijaznen način.

[3]**Ekspertni sistem** je "*razred računalniških programov (...) narejen po določenih pravilih, ki analizirajo informacije (običajno dopolnjene s strani uporabnika) (...), analizira probleme, in (...) predlaga smer delovanja uporabnika (...).*" (wikipedia.org).

Ekspertni sistem vključuje sledeče module:

a) Enota za pridobivanje podatkov in njihovo analizo

Pridobivanje podatkov je zasnovano na kratkem vprašalniku. Dodatni modul pomaga uporabniku pri oceni nerazpoložljivih podatkov. Vez z matriko informaciji o najboljših praksah in primerjavah (benchmarking) pomaga dejansko stanje v podjetjih.

b) Enota za podajanje predlogov

Je oblikovan z modulom za optimiranje procesov; modulom rekuperacije, ki pomaga pri načrtovanju in optimiranju primernega omrežja toplotnih prenosnikov za rekuperacijo in integracijo procesa; in modul za dobavo toplote in hladu, ki pomaga pri izbiri in dimenzioniranju najprimernejše opreme in distribucijskega sistema za dobavo toplote in hladu.

c) Enota za energijsko, ekonomsko in okoljsko vrednotenje novih predlogov

Energetska učinkovitost sistema je določena s poenostavljenim modulom za simulacijo sistema. Na osnovi energetske učinkovitosti program izvede analizo celotnih stroškov *(TCA – total cost analysis*) in analizo vplivov na okolje.

d) Enota za samodejni izpis poročila in predstavitve energetskega pregleda v podjetju

Samodejni izpis poročila je v takšni obliki, da ga lahko neposredno predstavimo podjetju. Poročilo vsebuje informacije o tehničnem načrtovanju novih predlogov, stroških naložbe izbranih ukrepov in možen potek financiranja.

Ekspertni sistem vodi uporabnika preko menija Pomoč, s katerim mu program predlaga možne alternative. Te pomoči, skupaj z vodnikom za termične energetske preglede, priporočili in najboljšimi praksami, naredijo računalniško orodje uporabno tudi za nestrokovnjake.

1.6 Pregled vsebine vodnika

Drugo poglavje tega vodnika predstavlja teoretične koncepte, ki so uporabljeni v metodologiji termičnih energetskih pregledov EINSTEIN. To poglavje je bistveno za razumevanje posameznih korakov energetskega pregleda in postopkov izračunov.

Tretje poglavje v kronološkem zaporedju opisuje korak po koraku energetskega pregleda; od prvega stika s podjetjem do predaje poročila. Pri vsakem koraku so poudarjeni glavni vidiki katerim moramo posvečati največ pozornosti.

V četrtem poglavju so opisani primeri uporabe metodologije termičnih energetskih pregledov EINSTEIN.

Metodologija termičnih pregledov EINSTEIN, skupaj z računalniškim programom, pomaga pri spoznavanju potrebnih izračunov in nas vodi skozi vse korake energetskega pregleda. V dodatku (aneksu) vodnika boste našli tudi priročnik za pravilno uporabo računalniškega orodja EINSTEIN.

Reference Poglavja 1:

[1] European Commission (2005): “Doing more with Less: Green Paper for Energy Efficiency”, Brussels, p.31.

[2] E-Check in CRAFT-SME (2006): Energy Checks from Small and Medium Craft Enterprises. IEE project EIE/04/066/S07.38641.

[3] FLOSS (2002). Free/Libre and Open Source Software: Survey and Study. Final report. International Institute of Infonomics, University of Maastricht, The Netherlands, Berlecon Research GmbH, Berlin, Germany June 2002 European Project No. IST –29565 (5th FP)

2 $E = m \cdot c^2$. Teoretični koncepti EINSTEIN-a

2.1 Energija, energijska učinkovitost in obnovljivi viri

2.1.1 Raba energije po vrstah in načinu rabe

V industriji se energija v glavnem uporablja kot električna energija, v obliki fosilnih goriv (kot zemeljski plin, kurilno olje, biomasa in bioplin) in v nekaterih primerih kot toplota ter hlad iz toplarn (zunanji proizvajalec).

Rabo energije lahko izrazimo v obliki končne energije in primarne energije.

- *Končna energija* je količina energije, ki jo vsebujejo različni energijski viri, neodvisno od njihove oblike. (energijska vrednost goriv je pri EINSTEIN-u upoštevana kot ekvivalent najnižje kurilne vrednosti ali LCV – low caloric value)
- *Primarna energija* je celotna vrednost energije potrebne za proizvodnjo, vključno z izgubami v procesnih operacijah, od pridobivanja do pretvorbe in transporta. Razlika med končno in primarno energijo je še posebej visoka pri električni energiji: pri trenutni razpoložljivi tehnologiji v Evropi, potrebujemo 2,5 do 3 enote primarne energije, da proizvedemo eno enoto električne energije.

V industriji rabimo energijo tako za proizvodnjo toplote kot za proizvodnjo električne energije. Metodologija termičnih energetskih pregledov EINSTEIN se ukvarja le s proizvodnjo toplote. Uporaba toplotne energije je določena za:

- Gretje in hlajenje procesa (vključno z energijo za kemijske reakcije, če so te reakcije endotermne).
- Gretje in hlajenje proizvodnih hal in pisarn.
- Gretje sanitarne vode (npr. za umivanje, kuhanje ipd.).

Uporaba energije v druge namene je:

- Raba električne (in ostale) energije za razsvetljavo, elektromotorje, kompresorje in drugo električno opremo, razen za prezračevanje, hlajenje in gretje, ki so vključeni v sistem toplotne energije.

EINSTEIN *ne proučuje*, čeprav je pomembno za globalno energijsko ravnotežje, naslednjih načinov rabe:

- Ne energijska raba goriv za npr. surovino pri kemičnih procesih.
- Raba goriv za transport surovin in končnih proizvodov ter za prevoz delavcev.
- Raba energije iz surovin (iz predhodnih procesnih faz).

Raba energije kot toploto v evropski industriji predstavlja približno 70 % celotne rabe končne energije in več kot 50 % primarne energije.

2.1.2 Obnovljivi viri energije

Najpomembnejši obnovljivi viri energije za neposredno rabo v industrijskih sistemih za proizvodnjo toplote in hladu so:

- Sončna energija (vključno s soproizvodnjo: elektrika in gretje).
- Biomasa in biogoriva.
- Geotermalna energija.

Vse ostale tehnologije obnovljivih virov energije so pomembne neposredno, ker lahko le globalno vplivajo na količino porabljene električne energije (čez meje same industrije). To drži tudi za fotovoltaične sisteme, četudi so nameščeni na strehi podjetja. Ti sistemi so običajno priključeni na zunanje električno omrežje in posredno ne vplivajo na rabo električne energije v industriji.

Obnovljivi viri energije, ki jih uporablja industrija, niso upoštevani v količino porabljene primarne energije. Kljub temu moramo upoštevati razliko med obnovljivimi viri energije in prispevke različnih virov. Zaradi tega so v EINSTEIN-u ločeno upoštevani:

- Sončna energija kot neomejen in nedoločen obnovljiv vir energije.
- Biomasa in bioplin, ki sta obnovljiva, vendar omejena vira energije. Uporaba te energije je mogoča tudi v ostalih sistemih (npr. elektrarnah, pri pretvorbi v biogoriva) in tudi v kmetijstvu.

2.1.3 Raba energije v industriji in njen vpliv na okolje

Raba energije v evropski industriji predstavlja 28 % celotne rabe energije (brez upoštevanja rabe energije v transportu, ki je povezan z industrijsko proizvodnjo)[4].

Vpliv na okolje je posledica različnih dejavnikov, kot so:

- Emisije v zrak pri pretvorbi energije (CO_2, ostali toplogredni plini (TGP), NO_x, CO, radioaktivne emisije, radioaktivni odpadki ipd.).
- Raba omejenih in neobnovljivih virov (fosilnih goriv, surovin).
- Tveganja povezana z dobavo energije in s sistemi pretvorbe (npr. jedrske nesreče, prevoz goriv ipd.).
- Poraba vode (npr. v hladilnih stolpih).
- Raba polj (npr. raba polj za proizvodnjo biogoriv ali biomase namesto rabe polj za kmetijstvo).

Upoštevanje zgoraj navedenih dejavnikov za EINSTEIN-ovo izčrpno izvedeno oceno vplivov na okolje bi bilo izven okvirov zastavljenih ciljev energetskega pregleda. Zato uporabljamo sledeče parametre, kot glavne kazalce pri ocenjevanju vplivov na okolje:

- *Rabo primarne energije* kot glavni indikator pri ocenjevanju vplivov na okolje.
- *Emisije CO_2.*
- *Proizvodnjo visoko radioaktivnih odpadkov (VRO)*, ki so povezani s proizvodnjo električne energije.
- *Rabo vode.*

2.1.4 Strategije znižanja rabe energije na strani dobave in rabe energije

Raba energije v industriji (in tudi na splošno) uporabljamo za doseganje določenih ciljev, kot so.:

- Vzdrževanje čistoče površin ali strojev.
- Ločevanje dveh fluidov z destilacijo.

[4] *Podatki: EuroStat (2004).*

Iste cilje npr. čistočo lahko dosežemo na različne načine, z različno rabo energije. Npr. prostor ali stroj lahko ohranjamo čistega:

- S segrevanjem večje količine vroče vode (T = 80 °C ali T = 90 °C) za dnevno čiščenje.
- S pranjem pri nizki temperaturi in uporabi detergentov ali visokega tlaka.
- Z izogibanjem prekomernega čiščenja z razdelitvijo prostora za proces, ki proizvede velike količine prahu od ostalih procesov.
- ipd.

Kot je že bilo omenjeno v poglavju 1.3, je že na začetku vsakega termičnega pregleda EINSTEIN, potrebno pregledati možnosti znižanja potreb na samem viru. Iz ekonomskega in okoljskega vidika je takšen način najprimernejši.

In le preostalo potrebo po toploti in hladu moramo okoljsko in energijsko optimirati.

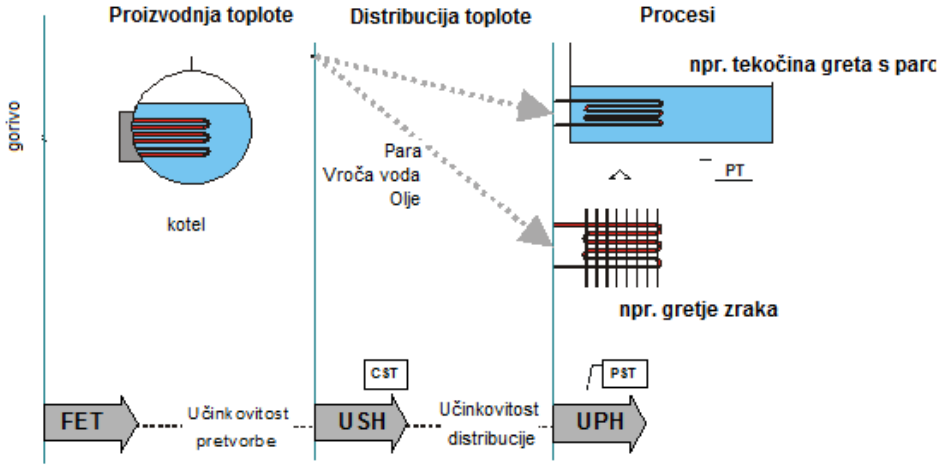
2.2 Energijski tokovi v industriji – definicije

Za analiziranje potreb po toplotni energiji v industriji po metodologiji EINSTEIN uporabljamo sledeče veličine:

- *Rabo končne energije* (FEC – *Final energy consumption*) in rabo končne toplotne energije *(FET – final energy consumption for thermal uses)*: LCV rabe goriv, toplote in elek. energije za toplotno energijo.

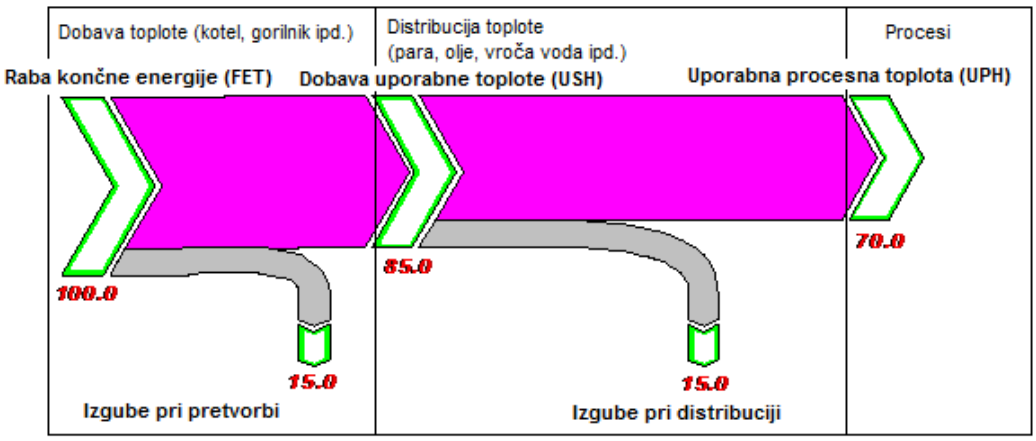
- *Uporabno toploto* (*USH – Useful supply heat*): toplota proizvedena v sistemu proizvodnje in dobave toplote (v kotlih, na gorilnikih) in ki je distribuirana procesom, ki rabijo toploto v obliki pare, vročega zraka, vroče vode ipd.

- *Uporaba procesne toplote* (*UPH - Useful process heat*): dobava toplote v proces (merjene na vtoku toplotnega prenosnika)



Slika 3: EINSTEIN definicije o energijskih tokovih v industrijskih sistemih dobave toplote.

Razmerji USH/FET in UPH/USH določata učinkovitost pretvorbe in učinkovitost distribucijskih sistemov (Slika 4).



Slika 4: Sankey-ev diagram industrijskih energijskih tokov s tipično učinkovitostjo pretvorbe energije in njene distribucije.

Če dodamo različne tokove odpadne toplote se shema energijskih tokov spremeni, kot je prikazano na sliki 6. Primer procesa z različnimi vrstami rekuperacije odpadne toplote je prikazan na sliki 5.

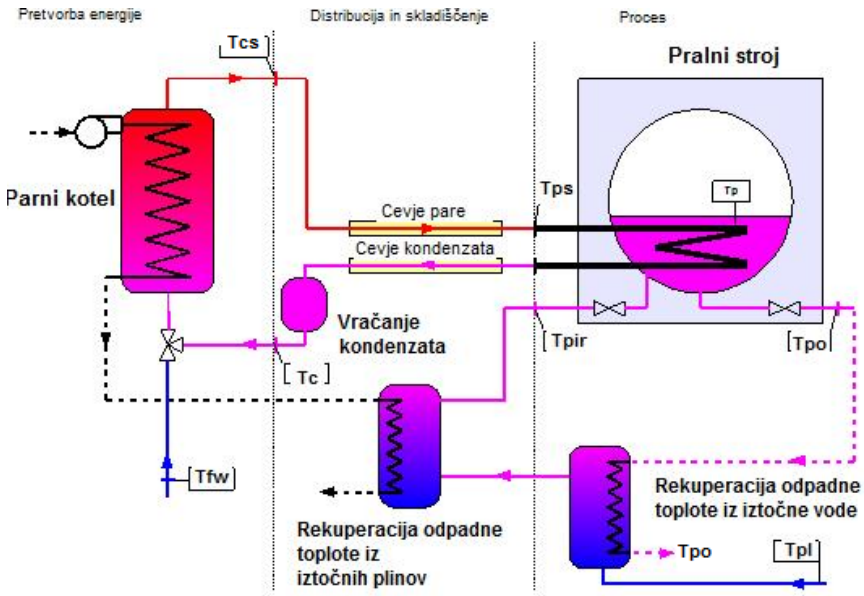
V EINSTEIN-u označujemo razpoložljivo odpadno toploto (QWH - *available waste heat*) kot energijski tok, ki je proizveden v podsistemih (dobavi / distribuciji / procesih / ostalih) in ni glavni iztok iz sistema. Odpadni toplotni tokovi so lahko:

- Toplota dimnih plinov.
- Kondenzat in toplota odpadne vode iz parno – kondenzatnega sistema.
- Toplota iz procesne odpadne vode.

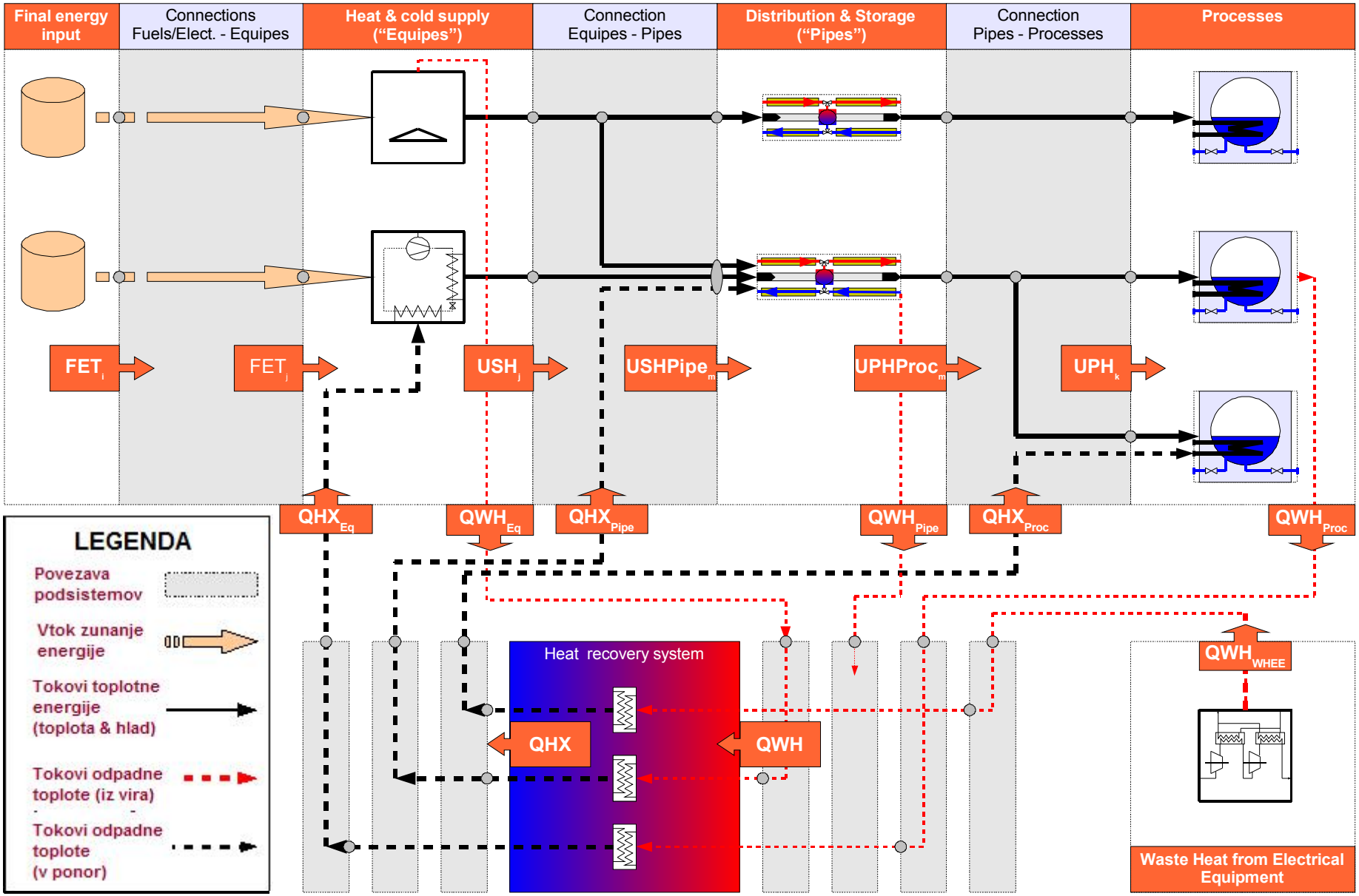
Rekuperacija odpadne toplote (QHX - *recovered waste heat*) je energijski vtok v podsistemih (dobavi/ distribucijia / procesih), ki je iz sistema rekuperacije odpadne toplote (vključno z okoliškim zrakom). Ponovna uporaba odpadne toplote je npr.:

- Gretje zgorevalnega zraka ali napajalne vode kotla.
- Gretje vode po čiščenju.
- Gretje toka vračanja vode v distribucijskem krogu vroče vode.

V naslednjih poglavjih podajamo matematične definicije količin, ki jih uporablja EINSTEIN programski paket pri računanju energijskih bilanc.



Slika 5: Primer industrijskega pranja predstavljenega z EINSTEIN-ovo shemo z različnimi vrstami rekuperacije odpadne toplote: rekuperacije odpadne toplote iz dimnih plinov za gretje vode; rekuperacija odpadne toplote iz odpadne vode za gretje vode; uporaba kondenzata za gretje vtočne vode v kotel.



Slika 6: Definicije EINSTEIN z rekuperacijo odpadne toplote v sistemu dobave toplote in hladu.

2.2.1 Raba končne in primarne energije

Za izračun celotne količine končne energije (FEC), ki vstopi v proizvodnjo v obliki goriv (izražena kot LCV), električne energije ($E_{\mathrm{FEC,el}}$ in daljinske toplote, potrebujemo vrednost celotne rabe končne energije (FEC) kot prikazuje enačba 2.1.

$$E_{\mathrm{FEC}}=E_{\mathrm{FEC},\ el}+\sum_{i=1}^{N_{\mathrm{fuels}}}E_{\mathrm{FEC},\ \mathrm{fuel}(i)}+E_{\mathrm{FEC},\ \mathrm{heat}} \tag{2.1}$$

Pri izračunu rabe primarne energije potrebujemo faktorje pretvorbe za vsako vrsto energije (enačba 2.2).

$$E_{\mathrm{FEC}}=f_{\mathrm{PE},\ el}E_{\mathrm{FEC},\ el}+\sum_{i=1}^{N_{\mathrm{fuels}}}f_{\mathrm{PE},i}E_{\mathrm{FEC},\ \mathrm{fuel}(i)}+f_{\mathrm{PE},\ \mathrm{heat}}E_{\mathrm{FEC},\ \mathrm{heat}} \tag{2.2}$$

$f_{\mathrm{PE,el}}$ (vrednost med 2.5 in 3) je faktor pretvorbe za električno energijo.
$f_{\mathrm{PE,i}}$ (vrednost je 1.1) je faktor pretvorbe za različne vrste goriv.

Energijo potrebujemo za gretje in hlajenje ter za razsvetljavo, pogon elektromotorjev ipd. Električna energija se v hladilnikih rabi za prezračevanje in hlajenje, v opremi za električno gretje je všteta toplotna energija. Ustrezna količina energije je označena kot:

- PET/FET: Primarna/končna toplotna energija.
- PEO/FEO: Primarna/končna energija za ostalo rabo.

Seštevek končne toplotne energije in končne energije za ostalo rabo je celotna raba končne energije (enačba 2.3).

$$E_{\mathrm{FEC}}=E_{\mathrm{FET}}+E_{\mathrm{FEO}} \tag{2.3}$$

Celotna končna energija za toploto je seštevek vse energije potrebne za opremo, ki jo v proizvodnji uporabljamo za segrevanje ali hlajenje.

$$E_{\mathrm{FET}}=\sum_{j=1}^{N_{\mathrm{eq}}}E_{\mathrm{FET},j} \tag{2.4}$$

N_{eq} število opreme v proizvodnji (kotli, hladilniki, CHP motorji ipd.).

Posebni primer je soproizvodnja elek. in toplotne energije (CHP):

Iz vidika EINSTEIN-a se soproizvodnja obravnava kot oprema za dobavo toplote (več podrobnosti najdemo v poglavju 3.7). Raba energije se v soproizvodnji upošteva kot neto raba, ki je sestavljena iz porabe goriva in proizvodnje električne energije kot oblike negativne porabe (enačba 2.5).

$$E_{\mathrm{FET},j}=E_{\mathrm{FET},\ \mathrm{fuel}(j)}-E_{\mathrm{FET},\ \mathrm{el.gen},j} \tag{2.5}$$

Opozorilo. Če je izkoristek električne energije opreme za soproizvodnjo višja od referenčne vrednosti električnega omrežja, je lahko raba elek. energije za soproizvodnjo v obliki primarne energije negativna!!!

2.2.2 Uporabna dobava toplote in hladu (USH/C)

Uporabna dobava toplote (USH) je toplota, ki jo proizvedemo v kotlovnici. Merimo jo na iztoku iz kotlovnice in sicer na mestu kjer se toplota po različnih vejah distribuira in jo označimo kot USHPipe (enačba 2.6).

$$\Phi_{\mathrm{USH},j} = \Phi_{\mathrm{USH,\ Eq},j} + \Phi_{\mathrm{QHX},j} \tag{2.6}$$

$\Phi_{QHX,j}$ uporabljena odpadna toplota v tej opremi (npr. gretje zgorevalnega zraka ali napajalne vode).

$\Phi_{USH,Eq,j}$ dodatna proizvedena toplota v pretvorbi iz končne energije.

Neto učinkovitost pretovrbe energije v opremi je definirana v enačbi 2.7.

$$\eta_{\mathrm{conv},j} = \frac{\Phi_{\mathrm{USH,\ Eq},j}}{E_{\mathrm{FET},j}} \tag{2.7}$$

Na strani opreme je energijska bilanca zapisana v enačbi 2.8.

$$\Phi_{\mathrm{USH,\ pipe},m} = \Phi_{\mathrm{USH},m} + \Phi_{\mathrm{QHX},m} \tag{2.8}$$

$\Phi_{\mathrm{QHX},m}$ uporabljena odpadna toplota v cev *m* (npr. gretje povratka ipd.).

Toplota iz zaključenih zank – tokokrogov (npr. kondenzat iz parno – kondenzatnega sistema, direktna priprava in distribucija vroče vode) je definirana na zunanji referenčni temperaturi (vtok hladne vode, vtok zraka), prikazana v enačbi 2.9.

$$\Phi_{\mathrm{USH,\ pipe,m}} = q_{\mathrm{m,o}} \cdot h_{\mathrm{o}} - q_{\mathrm{m,ret}} \cdot h_{\mathrm{ret}} - q_{\mathrm{m,i}} \cdot h_{\mathrm{i}} \tag{2.9}$$

o	iztok
ret	povratek
i	vtok

Za zaprte kroge jo lahko poenostavimo kot kaže enačba 2.9a.

$$\Phi_{\mathrm{USH,\ pipe},m} = q_{\mathrm{m}} \cdot \left(h_{\mathrm{o}} - h_{\mathrm{ret}}\right) \tag{2.9a}$$

Analogne enačbe te enačbe uporabimo tudi za uporabno dobavo hladu (USC).

2.2.3 Uporabna procesna toplota in hlad (UPH/C)

Uporabna (neto) procesna toplota (UPH) je definirana kot razlika celotne potrebne toplote procesa in notranje toplote iz rekuperacije odpadne toplote (enačba 2.10).

$$\Phi_{\mathrm{UPH}} = \Phi_{\mathrm{UPH,\ gross}} - \Phi_{\mathrm{HX,\ internal}} \tag{2.10}$$

Uporabno (neto) procesno toploto dobimo tudi iz sistema dobave toplote ali iz zunanje[5] rekuperacije odpadne toplote, kot je prikazana v enačbi 2.11.

[5] Razlika med zunanjo in notranjo rekuperacijo odpadne toplote zavisi od mej procesa in se uporablja za opremo z notranjimi toplotnimi prenosniki: npr. celotna potreba po toploti v pasterizatorju, kjer segrevamo hladno mleko iz *T* = 4 ºC na *T* = 72 ºC je neto potreba po toploti le razlika rekuperacije odpadne toplote npr. od *T*= 50 ºC do *T*= 72 ºC.

$$\Phi_{\mathrm{UPH}}=\Phi_{\mathrm{UPH,\,Proc}}+\Phi_{\mathrm{HX,\,Proc}} \tag{2.11}$$

$\Phi_{\mathrm{UPH,\,Proc}}$ toplota iz sistema dobavne toplote uporabljene za gretje procesa.

$\Phi_{\mathrm{HX,\,Proc}}$ zunanja rekuperacija toplote uporabljene za gretje procesa.

2.2.4 Razpoložljiva odpadna toplota (QWH) in rekuperirana odpadna toplota (QHX)

Za izračun potenciala rekuperacije odpadne toplote je pomembno razlikovati med celotno količino odpadne toplote in odpadne toplote, katero lahko uporabimo za rekuperacijo.

Za tokove, ki jih uporabljamo kot vtoke v drug proces je količina nazaj pridobljene toplote omejena s končno temperaturo, na katero lahko tok ohladimo, določeno na najnižjo entalpijo h_{min}. Na enak način lahko razpoložljivo količino odpadne toplote iz proizvodne opreme (npr. iz dimnih plinov) ali iz cevja (kondenzatov) izračunamo na osnovi referenčne temperature kot prikazuje enačba 2.12a.

$$\Phi_{\mathrm{QWH,\,Proc}} = m_{\mathrm{o}} \cdot \left(h_{\mathrm{po}} - h_{\mathrm{min}}\right) \tag{2.12a}$$

$\Phi_{QWH,Proc}$ razpoložljiva odpadna toplota, ki jo lahko uporabimo za rekuperacijo.

Neodvisno od tokov odpadne toplote, lahko odpadno toploto skladiščimo v procesni opremi ali v procesnem mediju, ki ostaja znotraj procesa. Celotna količina odpadne toplote lahko izračunamo po enačbi 2.12b.

$$\Phi_{\mathrm{QWH,\,Proc}} = m_{\mathrm{o}} \cdot \left(h_{\mathrm{po}} - h_{\mathrm{min}}\right) + m \cdot c_p \cdot \left(T_{\mathrm{p}} - T_{\mathrm{min}}\right) \cdot N_{\mathrm{s}} \tag{2.12b}$$

N_s celotno število zagonov in zaustavitev procesa.

Količina ponovno uporabljene odpadne toplote Φ_{QHX} je odvisna od lastnosti sistema rekuperacije odpadne toplote in je vedno manjša oziroma enaka celotni razpoložljivi odpadni toploti (enačba 2.12c).

$$\sum_{h=1}^{N_{\mathrm{HX}}} \Phi_{\mathrm{QHX},h} \leq \sum_{\mathrm{source}} \Phi_{\mathrm{QWH,source}} \tag{2.12c}$$

2.3 Temperaturni nivoji in dobava toplote

Pri analizi EINSTEIN ni upoštevana le vrednost (količina) energije v vsakem podsistemu ampak se analizira tudi temperaturni nivo (kakovost) dobavljene in potrebne toplote (preglednica 2).

Čeprav je zaradi tega analiza potrebe toplote kompleksnejša, je nujno potrebna za načrtovanje energetsko učinkovitih ukrepov:

- Potencial rekuperacije odpadne toplote in njene integracije je močno odvisna od temperature dobave in porabe (razpoložljiva odpadna toplota).
- Veliko tehnologij energetsko učinkovite pretvorbe kot so soproizvodnja in toplotne črpalke ter obnovljivi viri energije (sončna energija) je omejena z nizko in srednje visoko temperaturo. Načrtovanje sistema dobave, ki lahko maksimalno izkoristi nizko temperaturne vire, je prvi pogoj za uporabo teh tehnologij.
- Če se temperaturni nivoji znižajo se izkoristek procesa za pretvorbo energije zviša, znižajo se toplotne izgube distribucije, skladiščenja in procesne opreme.

Preglednica 2. Uporaba možnih tehnologij glede na T nivo.

Temperaturni interval [°C]	Temperaturni nivo toplote	Uporabne tehnologije za dobavo toplote
< 60	Nizek	Toplotne črpalke. Nizko temperaturni toplotni solarni sistem.
< 90	Srednji do nizek	Odpadna toplota iz soproizvodnje (hladilna voda). Dejasnka meja za uporabo solarnega toplotnega sistema.
< 150	Srednji do visok	Nizko tlačna para.
< 250	Srednji do visok	Meja za nizko temperaturne solarne sisteme
< 400	Visok	Dejanska meja za odpadno toploto iz plinskih turbin, biomase ipd.

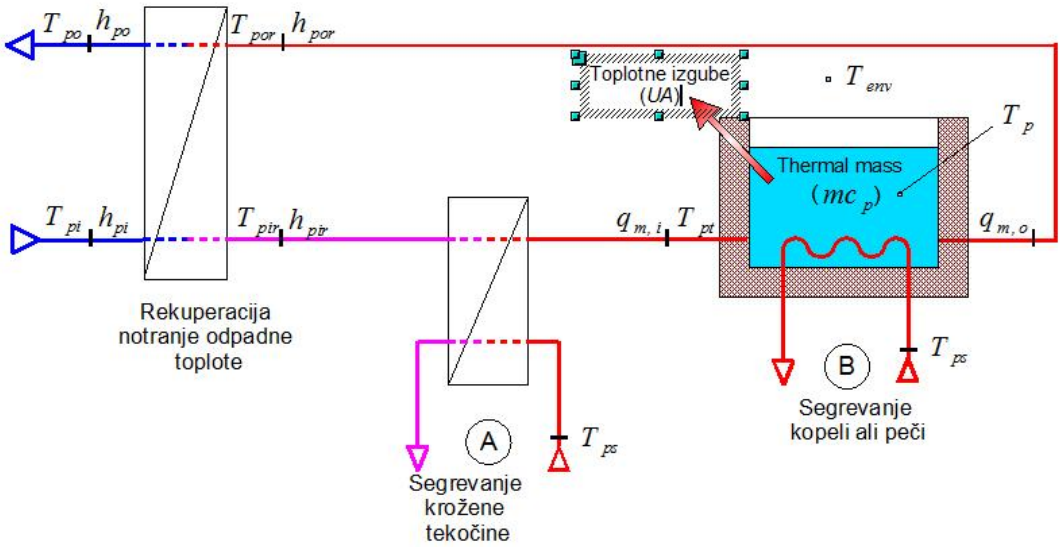
Moramo razlikovati med naslednjimi temperaturami v procesu in sistemu dobave toplote:

- *Procesna temperatura (PT - Process temperature*) je temperatura delovnega medija v procesu.
- *Dobavna temperatura procesa (PST - Process Supply Temperature*) je vtočna temperatura transportnega medija toplote, ki ga uporabimo za gretje procesa (npr. temperatura pare na vtoku v toplotni prenosnik)
- *Osnovna dobavna temperatura (CST - Central supply temperature*) je temperatura transportnega medija toplote na iztoku kotla. Razlika med CST in PST so toplotne izgube.

2.4 Procesni modeli in krivulje potreb

2.4.1 Procesni modeli

Procesi v EINSTEIN-u so oblikovani kot standardni procesni modeli, opisani že v POSHIP[6] (slika 7). Večina procesov zahteva gretje vtokov fluidov (npr. toka vročega zraka, vroče vode, sanitarne vode ipd.) in gretje zbiralnikov (peči, kopeli ipd.). Druge lahko ločimo na gretje pred začetkom procesa in na vzdrževanje temperature (pokrivanje toplotnih izgub med procesom).



Slika 7: Standardni EINSTEIN-ov procesni model z enim vtokom in iztokom.

Celotno potrebo po toploti lahko shematično razdelimo na tri dele, ki so prikazani na sliki 7.

A) Kroženje toplote (UPH_c)

Toplota v zvezi z vtokom masnega toka je toplota potrebna za segrevanje vtočnega medija na delovno temeraturo, neodvisno od položaja gretja (pred vtokom ali v samem procesu). Ta toplota se lahko uporablja tako v kontinuiranih kot tudi v diskontinuiranih procesih in je neodvisna od časovnega intervala kroženja masnega toka. Čas kroženja je lahko različen od časa operacije (enačba 2.13).

$$\Phi_{\mathrm{UPH,c}}^{\mathrm{gross}} = m_c \cdot c_p \cdot \left(T_{\mathrm{p}} - T_{\mathrm{pir}}\right) \qquad (2.13)$$

m_c je celotna masa medija, ki kroži v določenem časovnem intervalu (v enem dnevu ali enem letu)

Celotna potreba krožečega medija po toploti se izračuna po enačbi 2.14.

$$\Phi_{\mathrm{UPH,c}} = \Phi_{\mathrm{UPH,c}}^{\mathrm{gross}} - \Phi_{\mathrm{HX,\,internal}} = m_c \cdot c_p \cdot \left(T_{\mathrm{p}} - T_{\mathrm{pi}}\right) \qquad (2.14)$$

[6] POSHIP: The Potential of Solar Heat for Industrial Processes. Projekt je bil financiran s strani Evropske Komisije – Direktorat za energijo in transport. Programme ENERGIE (5th Framework Programme for Energy, Environment and Sustainable Development), Project No. NNE5-1999-0308.

B) Gretje v zagonu (UPH_s)

To je potrebna toplota, ki segreje preostanek mase (ne vključuje toplote za segrevanje vtočne mase) v procesni opremi na delovno temperaturo, ki se je ohladila zaradi zaustavitve procesa (ustavitev proizvodnje izven delovnega časa; ponoči, med vikendi, zaustavitve med posameznimi šaržami)

$$\Phi_{\mathrm{UPH,s}} = N_{\mathrm{s}} \cdot \left(m \cdot c_p\right)_{\mathrm{e}} \cdot \left(T_{\mathrm{p}} - T_{\mathrm{s}}\right) \tag{2.15}$$

$(mc_p)_e$ je ekvivalent toplotne mase procesa ne samo medija v procesni opremi v okoliški procesni opremi.
N_s je število zagonov v določenem časovnem intervalu.

C) Vzdrževalna temperatura (UPH_m*)*

Potrebna toplota za vzdrževanje delovne temperature. Je ekvivalentna toplotnim izgubam med procesom in okolico.

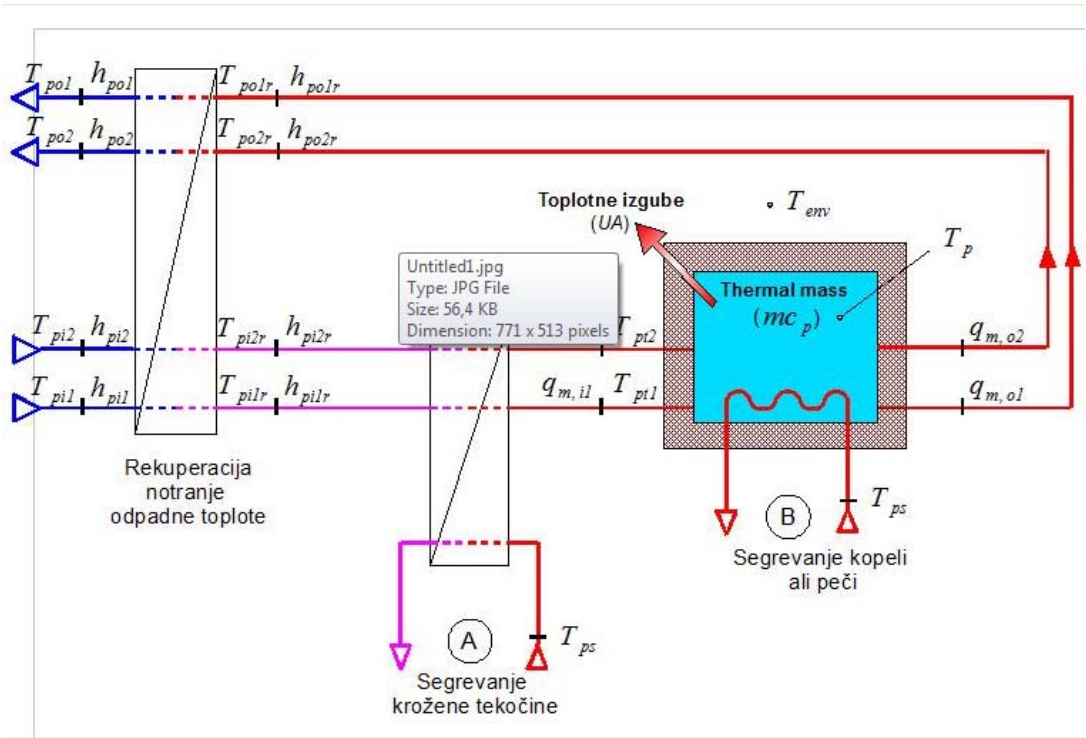
$$\Phi_{\mathrm{UPH,m}} = \left[(UA)\cdot\left(T_p - T_{\mathrm{env}}\right) + \Phi_{\mathrm{L}}\right]\cdot t_{\mathrm{op}} \tag{2.16}$$

(UA) koeficient toplotnih izgub procesne opreme.
T_{env} okoliška temperatura procesa (v proizvodni hali).
t_{op} čas obratovanja.

Celotno neto koristno procesno toploto lahko izračunamo iz enačbe 2.17.

$$\Phi_{\mathrm{UPH}} = \Phi_{\mathrm{UPH,c}} + \Phi_{\mathrm{UPH,m}} + \Phi_{\mathrm{UPH,s}} \tag{2.17}$$

Enostaven procesni model EINSTEIN-a lahko hitro posplošimo na procese z več vtoki in iztoki (slika 8).



Slika 8: Standardi procesni model z več vtoki in iztoki.

2.4.2 Poenostavitev podatkov za hitri energetski pregled po EINSTEIN-u

Za hitro analizo in v želji da znižamo količino potrebnih podatkov, lahko splošne procesne modele v EINSTEIN-u poenostvaimo kot je navedeno spodaj:

- Konstantni temperaturni nivoji in masni tokovi.
- Vsi iztoki in temperature odpadne toplote so konstantni.
- Odvisnost od časa je podana s obratovalnim režimom procesa (zagon/zaustavitev ali on/off)).

Za večino industrijskih procesov je ocenjeni konstantni temperaturni nivo zadosten.

2.4.3 Profili standardnih potreb

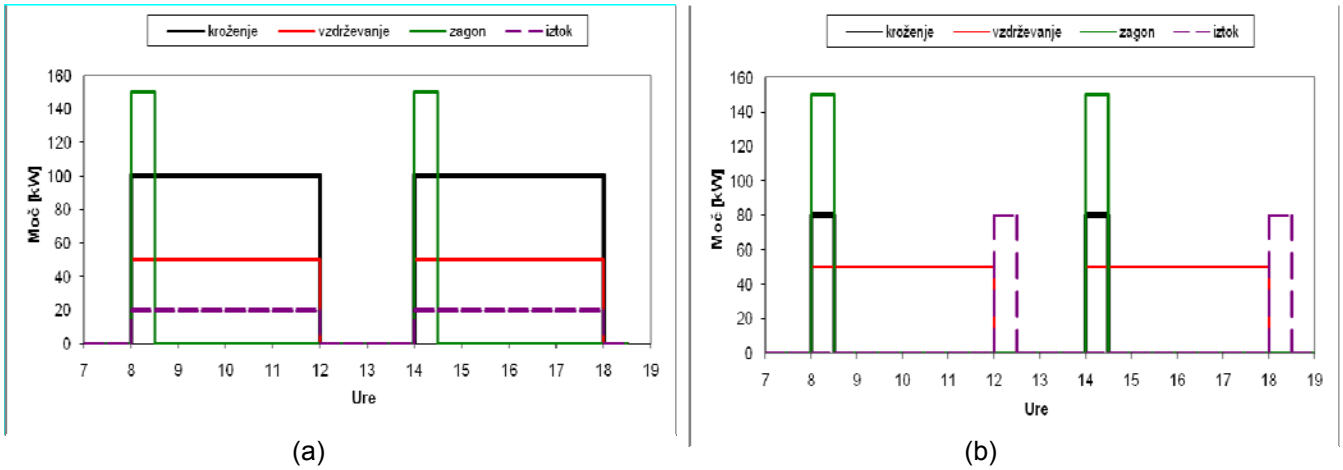
Časovna odvisnost potrebe po toploti in razpoložljivost odpadne toplote so v standardnih procesih EINSTEIN-a podani po sledečem programu:

- Program delovanja procesa: čas v katerem moramo vzdrževati konstantno temperaturo T_p.
- Program gretja pri zagonu: čas gretja ob zagonu procesa.
- Program vtokov.
- Program iztokov.

Če ni podan podroben program v osnovnem EINSTEIN-ovem vprašalniku (glej aneks), predvidevamo program glede na vrsto procesa (kontinuirni ali diskontinuirni proces), kot prikazuje preglednica 3.

Preglednica 3. Program glede na vrsto procesa.

	Kontinuirani proces	**Diskontinuirani proces**
Kroženje (vtok)	Kontinuirani med t_{op}	Prvih 20 % celotnega trajanja znotraj t_{op}
Zagon	Prvih 20 % celotnega trajanja znotraj t_{op}	Prvih 20 % celotnega trajanja znotraj t_{op}
Vzdrževanje	Kontinuirani med t_{op}	Kontinuirani med t_{op}
Odstranjevanje odpadnih tokov	Kontinuirani med t_{op}	Prvih 20 % celotnega trajanja po t_{op}



Slika 9: Standardni profil potreb za (a) kontinuirane and (b) diskontinuirane procese. Primer: proces s t_{op} = 2 h · 4 h.

2.5 Toplotna integracija in uščipna analiza

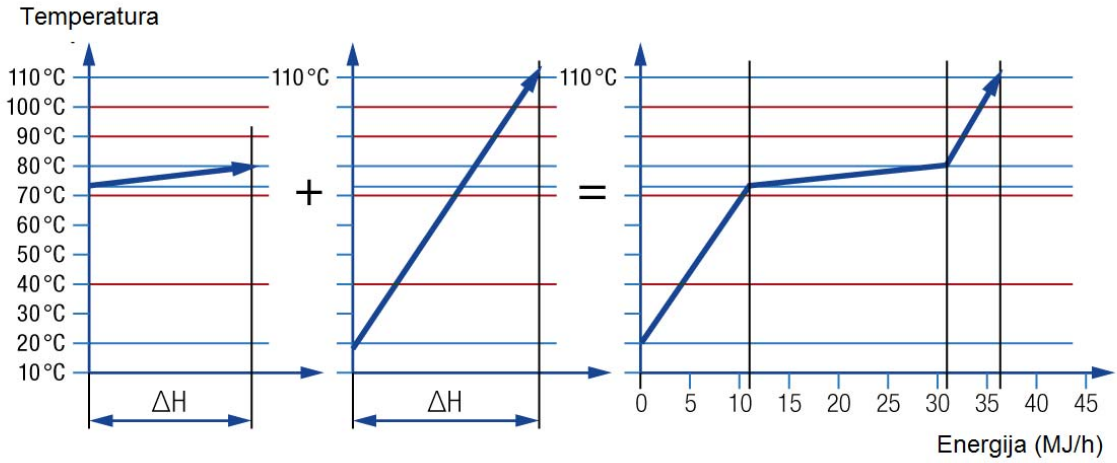
Pravilna pot integracije odpadne toplote v procesu je opisana v teoriji uščipa [Ferner, Schnitzer, 1990], ki so jo razvil v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja Linhoff in ostali. V analizi uščipa je celotna potreba po toploti in hladu prikazana na enostavnem diagramu, v katerem so prikazani tudi potrebni temperaturni nivoji. Iz omenjene analize lahko izluščimo naslednje pomembne informacije:

- Koliko lahko teoretično prihranimo pri energiji z rekuperacijo odpadne toplote?
- Koliko zunanjih potreb po toploti ima proizvodni proces? Na katerem temperaturnem nivoju potrebujemo toploto?

Zato je analiza uščipa močno orodje za prve ocene o možnostih prihrankov pri energiji z rekuperacijo odpadne toplote. Analiza jasno kaže potrebne temperaturne nivoje toplote in hladu. Informacija je pomembna za idealno integracijo novega sistema dobave energije.

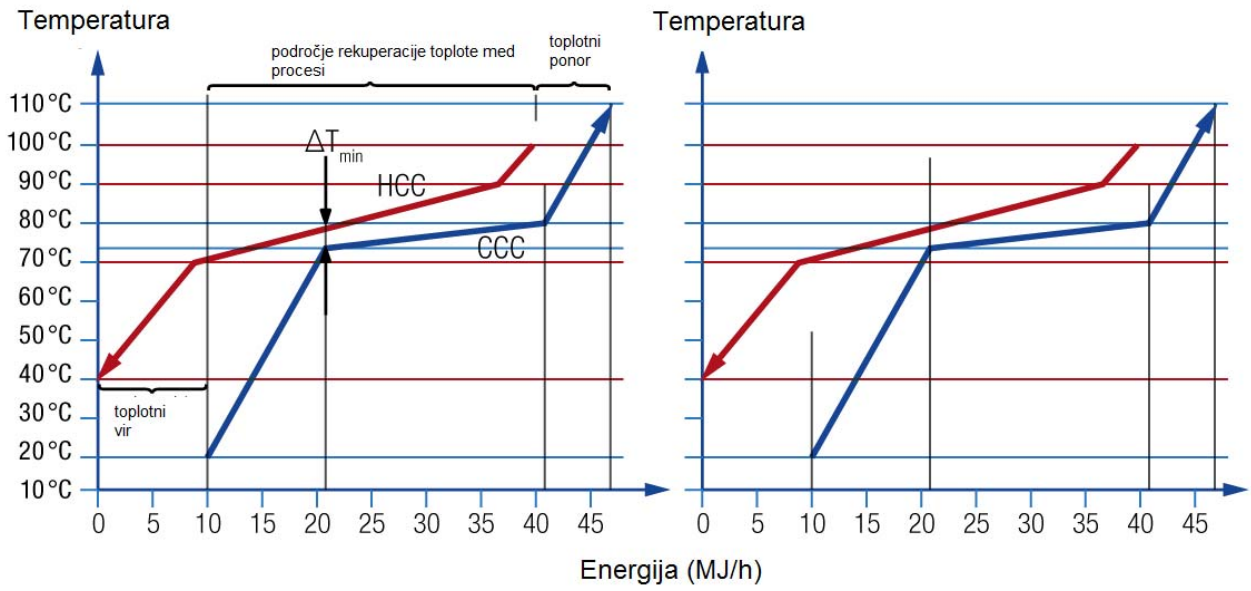
2.5.1 Analiziranje proizvodnega procesa z analizo uščipa

Teorija uščipa loči proizvodni proces na hlade tokove s presežkom toplotne energije in njihove potrebe po hlajenju in na tople tokove, katere je potrebno greti. Ta proces združuje temperaturne krivulje vseh tokov, katere je potrebno greti (hladna sestavljena krivulja) in vseh tokov, katere je potrebno hladiti (topla sestavljena krivulja) v diagram temperature v odvisnosti od entalpijskega toka (slika 10). Procesni tokovi so katerikoli masni tokovi razdeljeni na tokove katere je potrebno greti (hladni tokovi) in na tokove katere je potrebno hladiti (topli tokovi). Tokovi, kateri niso posebej pomembni za proces (npr. odpadna voda) so lahko vključeni, če jih lahko uporabimo kot grelni ali hladilni medij ostalih tokov.



Slika 10. Termodinamska kombinacija hladnih tokov. Sestavljena krivulja je sestavljena z dodajanjem entalpijskih sprememb posameznih tokov temperaturnega intervala.

Na enak način združimo tudi tople tokove. Obe krivulji nato narišemo na isto sliko, pri tem pa moramo paziti, da so hladni tokovi narisani pri višji temperaturi kot topli tokovi. To lahko dosežemo s horizontalnim premikanjem krivulj po x osi, da razlika v entalpiji vedno predstavlja relativno ne absolutno mero. Slika 11 prikazuje veliko sestavljeno krivuljo.



Slika 11. Sestavljena krivulja toplih in hladnih tokov.

S pomočjo sestavljenih krivulj lahko dobimo pomembna dejstva o procesu. Krivulji sta ločeni s točko najnižje želene razlike v tempertauri ΔT_{min}, ki jo sami določimo za možno toplotno menjavo v sistemu. ΔT_{min} določa temperaturni nivo v sistemu, ki ga imenujemo tudi ozko grlo (slika 11) ali uščip.

Uščip loči sistem na dva dela. Področje pod uščipom imenjujemo toplotni vir, ki ga moramo ohladiti alo odvetsi v okolje, nad uščipom je toplotni ponor oziroma pomanjkanje toplote, ki jo moramo pokriti z dodatnim gretjem. Za toplotno integracijo moramo upoštevati sledeča pravila:

- Ne hladi nad temperaturo uščipa (hladimo lahko s segrevanjem ostalih procesnih tokov).
- Ne grej pod temperaturo uščipa (na razpolago je dovolj odpadne toplote).
- Ne prenašaj toplote skozi uščip.

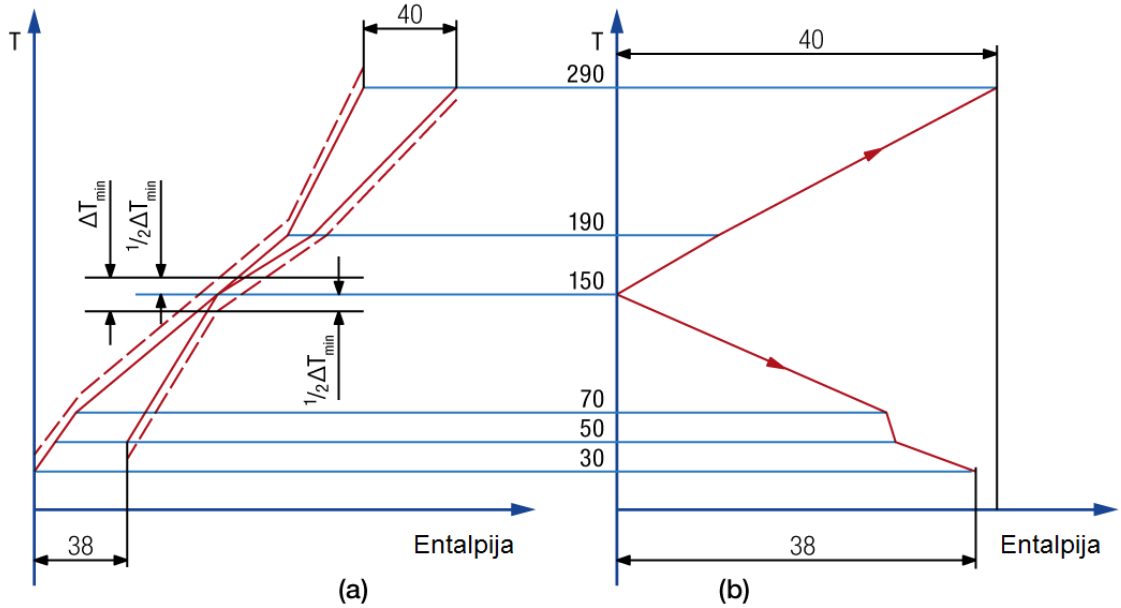
Prekrivanje krivulj na sliki 11 prikazuje največjo možno rekuperacijo odpadne toplote iz katere je moč določiti tudi najnižjo potrebo po gretju $\Phi_{H,min}$, in najnižjo potrebo po hlajenju $\Phi_{C,min}$. Minimalna temperaturna razlika ΔT_{min} je določena z ekonomskim optimiranjem, ker nižja ΔT_{min} zviša učinkovitost prenosa toplote, zviša pa tudi stroške in ploščino toplotnega prenosnika. Značilne temperaturne razlike ΔT_{min} so prikazane v preglednici 4.

Preglednica 4. Značine vrednosti ΔT_{min} različnih procesov [Linhoff Marec, 1998].

Vrsta industrije / procesa	Vrednosti ΔT_{min} glede na izkušnje
Rafinerije	20–40 °C
Petrokemična industrija	10–20°C
Kemična industrija	10–20 °C
Nizko temperaturni procesi	3–5 °C

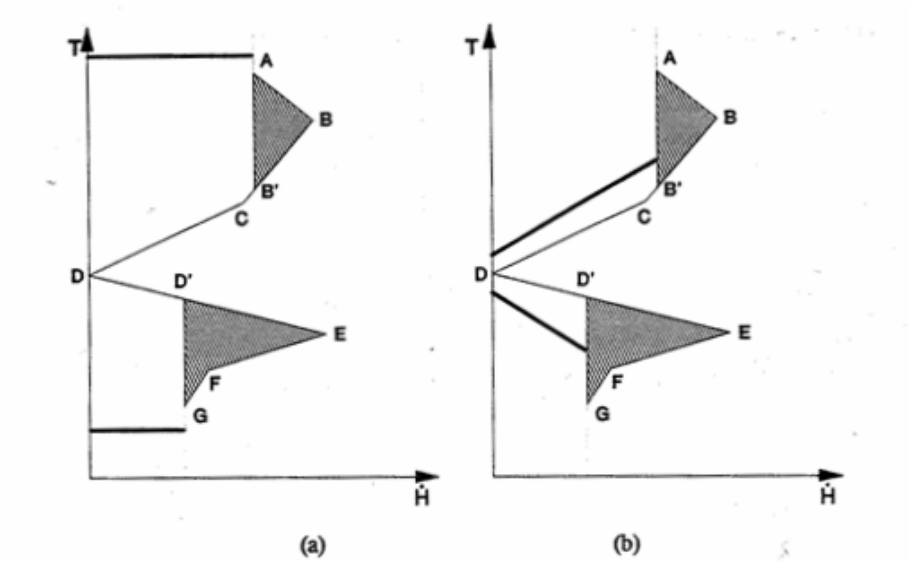
Teoretične vrednosti $\Phi_{C,min}$ in $\Phi_{H,min}$ so v praksi težko dosegljive. Razlogi so v onesnaženih, korozivnih ali kako drugače neprimernih tokovih. Vendar analiza uščipa podaja dober vpogled v kakšne so možnosti rekuperacije odpadne toplote.

Potrebe po toploti v procesu lahko pojasnimo tudi z veliko sestavljeno krivuljo (**GCC - grand composite curve**). Da sestavimo veliko sestavljeno krivuljo, moramo hladno sestavljeno krivuljo in toplo sestavljeno krivuljo pomakniti za ½* Δ*T* drugo proti drugi. Na ta način se krivulji dotikata v uščipu. Horizontalna razlika med obema krivuljama je narisana v diagramu *T H* (slika 12). To je drugi način prikazovanja toplotnega ponorja in toplotnega vira procesa. Če se toplotni tok zviša z višanjem temperature, proces deluje kot toplotni ponor (potrebujemo več energije, kot jo imamo na razpolago). Če se toplotni tok poviša z znižanjem temperature se proces predstavlja kot toplotni vir.



Slika 12: Prekrivanje hladne in tople sestavljene krivlje (a) in velika sestavljena krivulja (b).

Glavni cilj velike sestavljene krivulje je določiti zunanje toplotne vire, ki jih potrebujemo za gretje ali hlajenje procesnih tokov. Z analizo kateri toplotni viri lahko prenašajo toploto v toplotni ponor procesa je preostala potreba po toploti pokrita le z zunanjimi toplotnimi viri. Prav tako vidimo pri kateri temperaturi moramo zunaji toplotni vir dobaviti (slika 13). Velika sestavljena krivulja je odvisna od določene vrednosti Δ*T*.

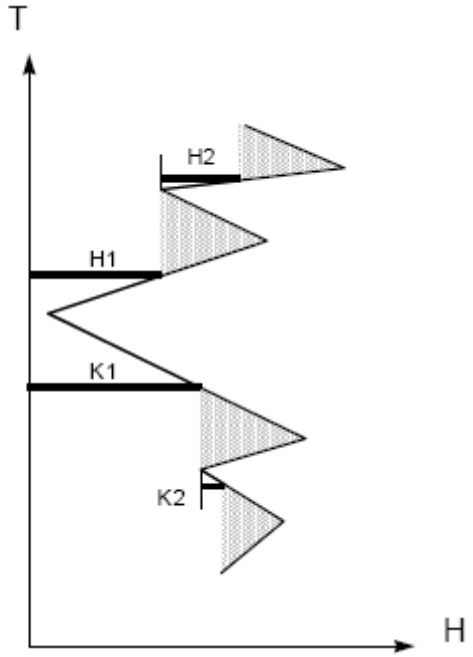


Slika 13: Velika sestavljena krivulja, toplotni ponor in toplotni vir. Zunanji toplotni viri (označeno črtkano) s prenizko oziroma previsoko temperaturo in posledično visokimi izgubami (a) in izbira idelane temperature (b).

2.5.2 Nekaj primerov integracije sistemov zunajih toplotnih virov z veliko sestavljeno krivuljo

Dobava toplote

Najučinkovitejša dobava toplote bi morala biti pri najnižji možni temperaturi (slika 14). V primeru prikazanem na sliki 14, bi bila idelana dva temperaturna nivoja dobave toplote in sicer H1 in H2.



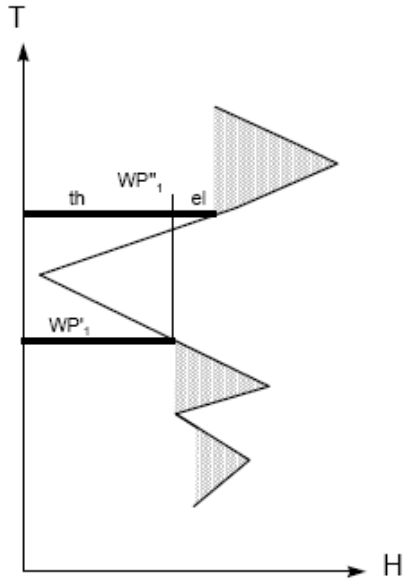
Slika 14: Integracija dobave toplote in hladu.

Hladilni stroj

Podobno je stanje tudi pri dobavi hladu pri idelani temperaturi. Integracija hladilne energije bi morala potekati pri najvišji možni temperaturi. Temperaturni nivoji hladilnih tovarn morajo biti pri K1 in K2, kot prikazuje slika 14.

Toplotna črpalka

Velika sestavljena krivulja prikazuje tudi idelane termodinamske možnosti integracije toplotne črpalke. Pod uščipom je razpoložljiva toplota za pogon toplotne črpalke. Kompresor dvigne temperaturo nad uščip, kjer je ponor toplote. Kompresor dobro deluje le v okolici uščipa, kot je prikazano v poglavju 3.7. Pri nizkotemperaturni toploti uporabimo električno energijo, rezultat je visokotemperaturna toplota nad uščipom. Idelani temperaturni nivoji za toplotno črpalko so podani na sliki 15. V primeru višjih temperatur, toplotna črpalka ne bo idealno integrirana v proces in bo delovala pri nižjem koeficientu izkoristka (COP – Coefficient Of Performance) in višjih potrebah po električni energiji.

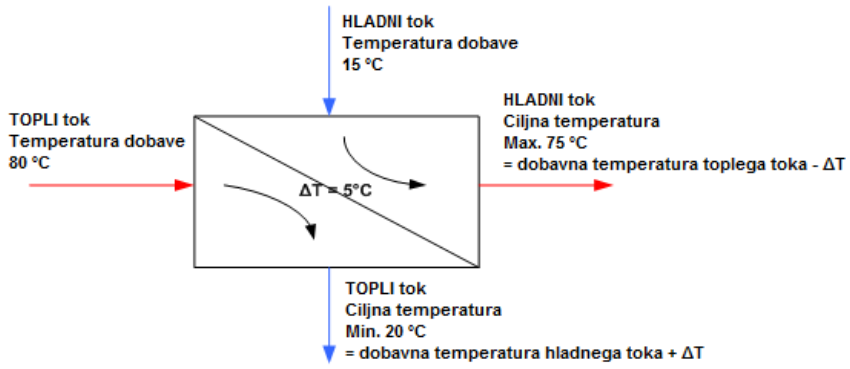


Slika 15: Integracija toplotne črpalke.

2.5.3 Načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov

Za načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov v analizi uščipa je odločitev vrednosti ΔT_{min} odločilna. Nižja je ΔT_{min} bližje lahko s končno temperaturo hladnega toka pridemo k začetni temperaturi toplega toka (ob predpostavki protitočnega toplotnega prenosnika). Slika 16 jasneje prikazuje podano trditev.

- V protitočnem toplotnem izmenjevalniku lahko končna temperatura hladnega toka doseže maksimalno začetno temperaturo toplega toka minus ΔT_{min}.
- V protitočnem toplotnem prenosniku lahko končna temperatura doseže maksimalno začetno temperaturo hladnega toka plus ΔT_{min}.



Slika 16: Vpliv ΔT_{min} na načrtovanje toplotnih prenosnikov.

Očitno je, da mora biti entalpija prenosa toplega in hladnega toka enaka (enačba 2.17).

$$H[kW] = m_{hs} \cdot c_{p_{hs}} \cdot \left(T_{supply_{hs}} - T_{target_{hs}}\right) = m_{cs} \cdot c_{p_{cs}} \cdot \left(T_{target_{cs}} - T_{supply_{cs}}\right) \qquad (2.17)$$

Dobava = Začetna temperatura / Cilj = Končna temperatura
Indeks hs: Topli tok = toplotni vir
Indeks cs: Hladni tok = toplotni ponor

Osnovna formula izračuna potrebne ploščine toplotnega prenosnika je podana z enačbo 2.18.

$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t_{\mathrm{m}} \tag{2.18}$$

A = prenosna ploščina
Δt_{m} = temperaturna razlika
k = koeficient toplotnega prenosa

2.5.4 Vpliv ΔT_{min} na analizo uščipa

Vpliv na termodinamiko prenosa toplote

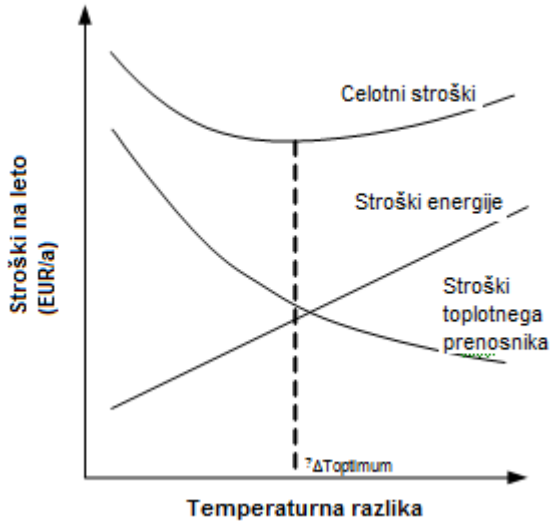
Kot smo že prej omenili je določitev vrednosti ΔT_{min} odločilna pri načrtovanju omrežja toplotnih prenosnikov. Nižja kot je ΔT_{min} bližje lahko s končno temperaturo hladnega toka pridemo k začetni temperaturi toplega toka. To postane očitno v preprostem primeru: odpadna voda pri T = 50 °C lahko segreje svežo vodo do T = 50 °C po prenosu toplote (pri tem moramo upoštevati, da je to mogoče le v primeru enakega oziroma nižjega masnega toka sveže vode od masnega toka odpadne vode).

Sprememba ΔT lahko drastično spremeni načrt omrežja toplotnih prenosnikov. Če nadaljujemo s prejšnjim primerom gretja sveže vode z odpadno vodo: če je ΔT_{min} = 5 °C, lahko svežo vodo segrejemo na T = 45 °C. V primeru, da želimo svežo vodo segreti na T = 60°C, potrebujemo dodatni toplotni tok, višjo T, ki bo temperaturo sveže vode dvignil iz T = 45 °C na želeno raven. Če zvišamo ΔT_{min} = 7 °C so se pogoji za gretje sveže vode spremenili. Sedaj moramo svežo vodo iz T = 43 °C segreti na T = 60 °C. Sprememba vrednosti ΔT_{min} nam sedaj poruši rešitev gretja z želenim oziroma izbarnim toplotnim tokom in moramo pri spremembi ΔT_{min}, ponoviti izračune od samega začetka.

Vpliv na stroške in ploščino toplotnega prenosnika

Diagrami hladne in tople sestavljene krivulje so narisani pri določeni splošni vrednosti ΔT_{min}. V naslednjih stopnjah načrtovanja omrežja toplotnih prenosnikov se vrednost ΔT_{min} določi glede na lastnosti tokov. Plinski tokovi bodo imeli višje vrednosti ΔT_{min} kot pa tekočin, ker imajo običajno tekočine boljši prenos toplote. Že v podpoglavju 'Načrtovanje toplotnih prenosnikov' smo zapisali, da imajo vrednosti ΔT_{min} vpliv na ploščino toplotnega prenosnika, posledično pa tudi na stroške.

Običajno pri načrtovanju omrežja toplotnih prenosnikov z določanjem vrednosti ΔT_{min} najdemo kompromisno rešitev za ploščino in prihranki obratovanja. Višja kot je vrednost ΔT_{min}, manjša je ploščina, nižji so stroški obratovanja in posledično so tudi prihranki pri energiji nižji (slika 17)



Slika 17: : Celotni stroški kot funkcija ΔT_{min}.

2.6 Analiza celotnih stroškov (TCA – Total Cost Assessment)

Analiza celotnih stroškov poleg običajne ekonomske analize na osnovi mikroekonomskih vključuje tudi makroekonomske parametre, kot so npr. okoljski in parametri varstva pri delu in je zato uporabna za ekonomsko analizo na daljše obdobje. To pomeni, da TCA upošteva poleg običajnih stroškov tudi druge stroške (npr. stroške varstva okolja), ki so odločilni pri ocenjevanju življenjske dobe naložb.

Analiza celotnih stroškov ima glede na običajno ekonomsko analizo naslednje značilnosti (razlike):

- *Kategorija stroškov*: poleg vseh stroškov, ki so upoštevani v običajni analizi, so vključeni tudi posredni stroški, prihranki in dohodki, kot tudi stroški, ki nastajajo zaradi izgube ugleda.
- *Razporeditev stroškov*: vsi stroški so natančno razporejeni v naložbi in jih ne upoštevamo k režijskim stroškom.
- *Časovni okvir*: TCA upošteva dolgoročne vplive, zato je čas daljši kot pri običajnih analizah.
- *Kazalniki*: ekonomske kazalnike analize celotnih stroškov uporabljamo tudi za pojasnjevanje dolgoročnih ekonomskih vplivov na naložbe.

Analizo celotnih stroškov lahko spremenimo v običajno analizo, če spremenimo določene parametre. Zaradi tega dejstva, je v EINSTEIN integrirana metoda, ki je uporabna pri običajni analizi, ki jo lahko preprosto razširimo, če dodamo makroekonomske parametre.

V splošni ekonomski analizi EINSTEIN primerja stroške obstoječega procesa (obstoječo dobavo toplote in hladu) s pričakovanimo vrednostjo naložbe in vseh stroškov predlaganega nakupa. Na splošno je časovni okvir ekonomskih izračunov določen s celotnim trajanjem projekta (življenjsko dobo opreme), vendar lahko časovni okvir po želji spreminjamo.

Običajna analiza stroškov v EINSTEIN-u (mikroekonomska analiza)

Ekonomski izračun upošteva stroške obravnavanega sistema dobave toplote in hladu in stroške predlaganih ukrepov. Glavna kategorija stroškov vključuje naložbo, stroške energije, proizvodne in stroške vzdrževanja, naključne in nepredvidene stroške.

Nepredvideni stroški in prihodki, ki vplivajo na rezultat ekonomske analize, kot so npr. povečanje tržnega deleža, pričakovane znižanje davkov. Ostali nepredvideni stroški vključujejo stroške, ki se pojavijo med projektom npr. stroški za dovoljenja za izvedbo naložbe.

Za vsak predlog novega sistema dobave toplote in hladu letni denarni tok izračuna po enačbi 2.19.

$$F_{C_t} = \sum_{i=1}^{n} EX_i^t - \sum_{i=1}^{n} S_i^t \qquad (2.19)$$

t = leto izračuna.
F_{Ct} = denarni tok v času analize (F_C – cash flow).
n = število kategorij stroškov.
EX = neto stroški (EX – net expense) projekta, ki jih izračunamo iz stroškov predlaganega procesa.
S = prihranki (S – savings) projekta, ki jih izračunamo iz stroškov obstoječega procesa, ki ga zamenjujemo oz. primerjamo.

Neto sedanja vrednost (NPV – net present value) projekta med njegovim izvajanjem izračunamo po enačbi 2.20.

$$V_{NPt} = \sum_{i=0}^{t} \frac{F_{Ci}}{(1+r)^i} \qquad (2.20)$$

t = leto izračuna.
V_{NPt} = neto sedanja vrednost donosa v času *t*.
r = realna obrestna financiranja.

Eden izmed najpomembnejših ekonomskih parametrov vsakega projekta je interna stopnja donosnosti (IRR – internal rate of return), ki je definirana kot letna stopnja donosnosti, ki jo podjetje zasluži pri naložbenem kapitalu in je določena kot interna obrestna mera, pri kateri je neto sedanja vrednost enaka nič. Za vsak predlog interne stopnje donosnosti za celotno življensko dobo projekta izračunamo za vsako leto posebej (enačba 2.21).

$$\sum_{i=0}^{t} \frac{F_{Ci}}{(1+IRR_t)^i} = 0 \qquad (2.21)$$

t = leto izračuna
IRR_t = interna stopnja donosnosti v letu *t*

V EINSTEIN TCA izračunih za določanje učinkovitosti alternative uporabljamo modificirano interno stopnjo donosnosti (MIRR – modified internal rate of return). MIRR upošteva možnosti ponovnega vlaganja vmesnih pozitivnih denarnih tokov. Za vsak predlog MIRR za celotno življensko dobo projekta izračunamo za vsako leto posebej (enačba 2.21a).

$$MIRR_t = q_t^{1/t} - 1 \qquad (2.21a)$$

Kjer je:
q = vrednost pozitivnega denarnega toka za vsako leto *t*, izračunana glede na stopnjo ponovnega vlaganja in deljena z V_{NP} negativnega denarnega toka, ki je izračunana glede na stopnjo financiranja (enačba 2.21b).

$$q_t = \frac{\sum_{i=0}^{t} F_{Ci}^{+}(1+d)^{t-i}}{-\sum_{j=0}^{t} F_{Cj}^{-}(1+r)^j} \qquad (2.21b)$$

Where:
F_C^+ = pozitivni denarni tok
F_C^- = negativni denarni tok
d = obrestna mera podjetja (realna stopnja)
r = obrestna mera zunanjega financiranja (realna stopnja)

Modul Celotna analiza stroškov EINSTEIN računalniškega orodja omogoča izračun vračilnega roka (PBP) vsakega ukrepa posebej. Vračilni rok je čas v katerem se naložba povrne in ga izračunamo po enačbi 2.22.

$$\sum_{i=0}^{PBP} \frac{F_{Ci}}{(1+r)^i} = 0 \qquad (2.22)$$

Pri vsakem ukrepu upoštevamo tudi razmerje koristi in stroškov (BCR - Benefit Cost Ratio)

Alternativni pristop upošteva izračun celotnih (letnih) stroškov energije kot vsoto stroškov goriv in električne energije, obratovalnih stroškov in stroškov vzdrževanja (O&M – operation & maintenance) ter anuitete naložbe (enačba 2.23).

$$C_{\text{Total}} = C_{\text{el}} + C_{\text{fuels}} + C_{\text{O\&M}} + a \cdot I_0 \qquad (2.23)$$

Anuiteto naložbe izračunamo kot $a = A/I_0$, kjer je A letno plačilo, tako da so po določenem času vrnjeni vsi dolgovi in obresti[7].

$$\sum_{i=1}^{N} \frac{a}{(1+r)^i} = 1 \qquad (2.24)$$

a = anuiteta naložbe
N = amortizacijska doba

Razširitev makroekonomskih parametrov za TCA

Kategorija nepredvidenih izdatkov novega sistema dobave energije lahko vključuje povečanje tržnega deleža zaradi makroekonomskih izboljšanj v regiji in zaradi trajnostne proizvodnje. Ostali predvideni stroški obstoječega energetskega sistema so stroški reševanja okoljskih nesreč, ki bi nastale, če sistema ne bi spreminjali.

Ena izmed glavnih razlik med makroekonomskimi (socialnimi vidiki) parametri in mikroekonomskimi (iz vidika podjetji) parametri je upoštevanje ali neupoštevanje subvencij[8] pri ekonomskih analizah (ali analizah rentabilnosti).

- Medtem ko je z vidika podjetja relevantna neto naložba (= celotna vrednost naložbe – subvencije) so s socialnega vidika subvencija dodatni strošek družbe. V primeru da naložbe ne izvedemo bi lahko subvencijo dodelili drugemu ukrepu za doseganje prihrankov energije ali za ukrepe varstva okolja.
- Stroški zaradi npr. povzročitve škode v okolju niso vključeni v bilance podjetja.

7 *Neto sedanja vrednost letnih plačil je identična začetni vrednosti naložbe. Enačba (2.24) velja le, če so vse naložbe izvedene v enem letu (leto 0).*

8 *Na ustrezen način uporabljajo iste razloge tudi ostali javni mehanizmi kot so npr. znižanje davkov ipd.*

3 EINSTEIN kot orodje za energetski pregled

EINSTEIN termični energetski pregled in načrtovanje izboljšanja energetskega sistema začnemo kar iz naše pisarne. Tako imenovana faza 'preliminarni pregled' je zelo pomembna, ker se vnaprej spoznamo s podjetjem in njegovim dejanskim stanjem (o dejanski porabi energije, o proizvodnih procesih, vgrajeni opremi, računih o porabljeni energiji ipd.) še preden prvič obiščemo podjetje. Podjetju po prvem telefonskem razgovoru, v elektronski obliki pošljemo vprašalnik, podane podatke vnesemo v računalniški program za hitro in grobo oceno potreb po energiji in možnostih izboljšanja.

Omenjena faza omogoča prihranek časa za pripravo na obisk podjetja, ki je že naslednja faza.

Druga faza vključuje dva koraka:

- Obisk podjetja in ogled energijskih ter proizvodnih procesov,
- Analiza pridobljenih podatkov z računalniškim programom EINSTEIN.

Glavni cilj ogleda je pridobitev manjkajočih podatkov z razgovori z zaposlenimi in z opravljanjem potrebnih meritev; pregled podjetja in njegovih shem ipd. S predhodno pridobljenimi podatki s pomočjo vprašalnika, za obisk podjetja potrebujemo le nekaj ur.

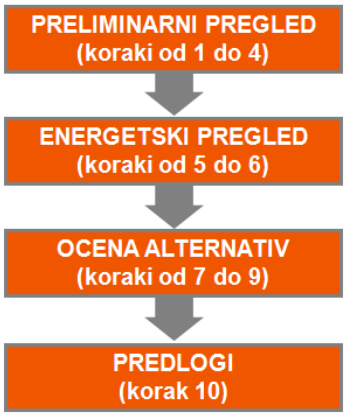
Ko imamo zbrane želene podatke, jih moramo vpisati v EINSTEIN računalniški program. S temi podatki nam bo pomaga oceniti energijske in ekonomske prihranke. Z EINSTEIN-om:

- Preverimo doslednost in popolnost pridobljenih podatkov,
- Ocenimo (oziroma pridobimo) manjkajoče podatke,
- Razčlenimo porabo toplote v procesu, temperaturne nivoje, energente,
- Analiziramo dejanske obratovalne izkoristke proizvodnega sistema,
- Izvedemo primerjavo (benchmarking).

Ko imamo čisto sliko o dejanskih energijskih tokovih in neučinkovitostih preidemo v tretjo fazo energetskega pregleda: **načrtovanje in ocenjevanje možnosti povišanja energetske učinkovitosti**. V tej fazi primerjamo ukrepe po sledečih korakih:

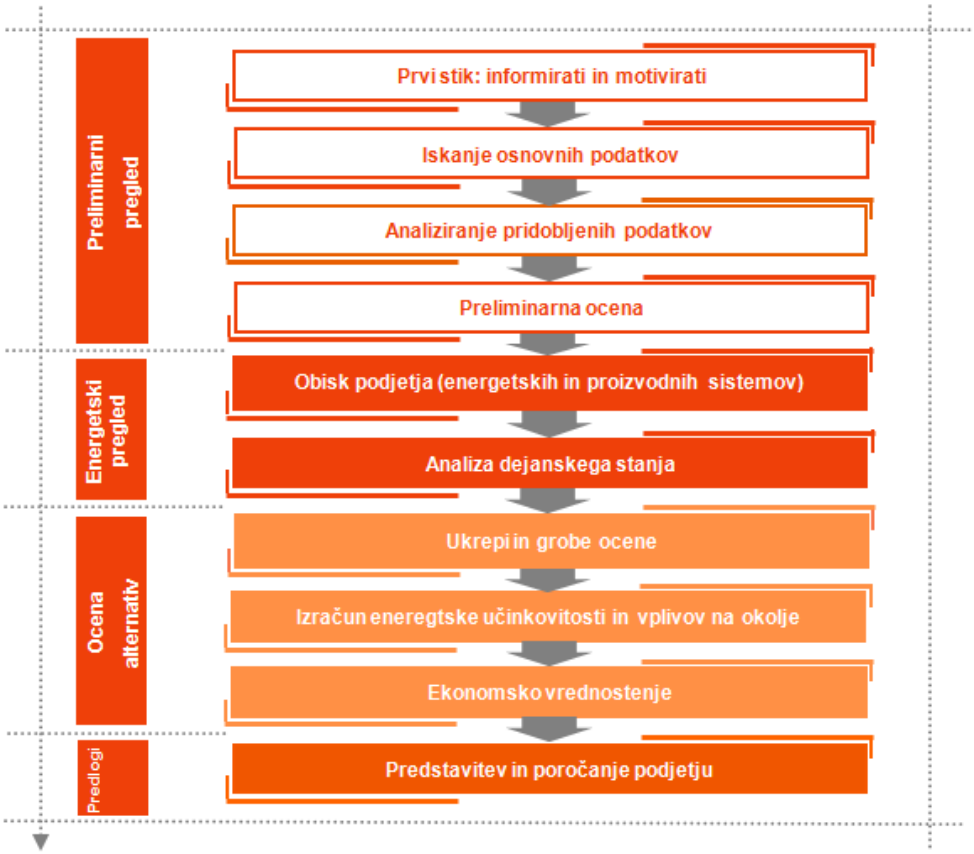
- Preliminarno načrtovanje celovitih ukrepov za energijske prihranke ter določanje ciljne rabe energije.
- Izračun energetske učinkovitosti in analiza vplivov na okolje.
- Ekonomska in finnačna analiza.

Na koncu bomo v svojem računalniku imeli vse potrebne podatke za učinkovito predstavitev rezultatov študije. **Poročanje** z EINSTEIN-om (četrta faza energetskega pregleda) je enostavno za nas in prepričljivo za podjetje (slika 18).



Slika 18. Faze energetskega pregleda po EINSTEIN-u.

Štiri faze EINSTEIN energetskega pregleda lahko razdelimo na 10 EINSTEIN **korakov**, ki so prikazani na sliki 19. Koraki so podrobnejše opisani v naslednjih poglavjih, kjer za vsakega najdemo naloge, navodila za izvedbo in uporabna orodja. Podrobnejša navodila faz EINSTEIN računalniškega orodja najdemo v Priročniku – EINSTEIN računalniško orodje.



Slika 19. Deset EINSTEIN-ovih korakov do eneregtske učinkovitosti.

3.1 Prvi kontakt: motivirati

3.1.1 Prvi stik po telefonu ali po pošti

S prvim stikom vzbudimo zanimanje podjetja, da podamo prve informacije o energetskih pregledih in da se dogovorimo za prvi sestanek.

Ena izmed boljših možnosti, da vzpodbudimo zanimaje podjetja je obnovitev že obstoječih znanstev v podjetju. Verjetno tudi poznamo podjetja, ki si želijo izboljšati svoje termične sisteme oziroma jih želijo povečati, prenoviti ali spremeniti.

Pošljemo promocijski material, iščemo nova znanstva npr. na sejmih, šolanjih, srečanjih o energetskih prohrankih v industriji. Stik lahko navežemo z industrijskimi združenji, regijskimi gospodarskimi zbornicami, ki so pripravljena podpreti naša prezidevanja.

Promocijski material naj vsebuje glavne vidike EINSTEIN-a (ki so navedeni že v EINSTEIN brošurah) in tudi možne poti financiranja npr. finančna podpora javnih institucij, trgovskih in gospodarskih zbornic ter sofinanciranje ministrstev ipd.

Po enem ali dveh tednih prvič pokličemo osebo kateri smo poslali promocijski material. Našo kontaktno osebo moramo prepričati v nadaljno sodelovanje. Prosimo jo, da nam pošlje prve podatke, da preverimo ali je podjetje primerno za EINSTEIN energetski pregled. Poskušamo se tudi dogovoriti za prvi sestanek v podjetju in/ali pripravljenost za izpolnitev osnovnega vprašalnika

Najprej preverimo, če smo izbrali pravo osebo. Te informacije si lahko predhodno priskrbimo iz spletne strani izbranega podjetja, iz časopisnih člankov, okoljskih poročil (ime osebe, njeno vlogo v podjetju, telefonsko številko, obseg proizvodnje in velikost podjetja) ipd.

Že vnaprej bodimo pripravljeni in že vedeti odgovor na sogovornikovo reakcijo kot npr.: ˝Nimam časa, nisem zainteresiran, prosim pošlijte mi več informacij ipd.˝

3.1.2 Prvi sestanek (neobvezno)

Če se podjetje nahaja v bližini vašega podjetja se lahko tudi osebno oglasimo v podjetju, da promoviramo EINSTEIN orodje. V nasprotnem primeru se moramo potruditi, da vzbudimo zanimanje tudi preko telefonskega pogovora. Lahko pošljemo tudi osnovni vprašalnik za samoocenjevanje (za podrobnejše informacije poglej poglavje 3.2)

Običajno je dobro, da pred prvim obiskom v podjetju, zberemo kar največ informacij o podjetju. Poskušamo razumeti oziroma predvideti vidike potencialne stranke (npr. ima tehnične probleme, energijski stroški so previsoki, njegove potrebe da izpolni pričakovanja podjetja ali da izpolni svoja pričakovanja ipd.). Na podlagi zbranih podatkov lahko na sestanku določimo naše prednosti in cilje: začnemo z EINSTEIN energetskim pregledom, si pogledamo proizvodnjo.

Od stranke moramo izvedeti kakšne so njene želje: ali želi najprej ona predstaviti podjetje ali naj začnemo s predstavitvijo našega podjetja. Potem je dobro, da stranko vprašamo kakšne so želje, problemi in pričakovanja. Lahko razpravljamo o že znanih problemih kot so npr. Ali so se stroški za energijo povišali in zakaj? Ali obstajajo tehnični ali organizacijski problemi pogonskih sredstev npr. z občinsko oblastjo, s sosedi ipd.? Kdo je zadolžen za vzdrževanje? Kakšni so nadaljni načrti? Kdo bo odgovoren za morebitne projekte? Koliko je star kotel?

Za predstavitev orodja lahko uporabimo EINSTEIN predstavitev (road show), EINSTEIN promocijsko brošuro in EINSTEIN tehnično brošuro (vključno z EINSTEIN orodjem). Prav tako lahko uporabimo že rezultate prelimenarnih študij.

Splošni napotki:

- Začnite pogovor z informacijami, ki ste jih pridobili na spletnih straneh ali začnite z ˝kdo je odogovoren za zanimivo internetno stran ipd.˝
- Nikoli ne odgovorimo na morebitne ugovore takoj, ampak najprej dobro premislimo o odgovoru. Poskušamo določiti druge prednosti.
- Poskušamo izvedeti čim več.
- Ne dolgovezimo. Podajajmo kratke in jedrnate informacije o glavnih prednostih, ki jih lahko podjetje dobi.

EINSTEIN korak 1: Prvi stik: Informirati in motivirati

> Promocijski material

> Možnosti samoocenjevanja

3.2 Pridobivanje podatkov

Preden začnemo z energetskim pregledom (običajno najprej podpišemo pogodbo s podjetjem) je zelo koristno, da pridobimo prve podatke. Ti podatki nam lahko pomagajo pri odločitvi ali je energetski pregled sploh smiseln in kako bomo enrgetski pregled izvedli.

Predhodna priprava vprašanj pred obiskom ali telefonskim razgovorom nam in podjetju pomaga prihraniti čas. Na takšen način je najverjetneje, da bomo dobili popolne in podrobne podatke.

V mnogih primerih pridobivanja podatkov s telefonskem razgovorom ali spletno pošto, lahko že opravimo hitro in grobo oceno in podamo prve možne ukrepe prihrankov energije.

3.2.1 Priprava podjetja

Pred začetkom energetskega pregleda podjetju sporočimo, katere podatke naj pripravi. Ti podatki so:

- Splošno stanje v podjetju:

  - ekonomsko stanje (preteklo in sedanje),
  - pričakovanja v prihodnosti (rast proizvodnje, pričakovane pomembne spremembe ali projekti).

- Računi za gorivo in elektriko:

  - podatki o trenutno porabljeni energiji in stroških,
  - podatki o rabi energije iz prejšnjih let,
  - podatki o mesečni ali sezonski potrebi po energiji, če so na voljo.

- Opis proizvodnega procesa (procesne in druge sheme in načrti):

  - kateri so proizvodni procesi,
  - kateri so proizvodni tokovi in procesne operacije.

- Opis procesov:

  - kateri procesi porabljajo toploto in hlad,
  - obseg proizvodnje in količine proizvodov,
  - temperaturni nivoji v procesih (dobave in rabe energije),
  - časovni režimi proizvodnih procesov.

- Opis sistema dobave toplote in hladu:

  - tehnični podatki opreme (kotlov, hladilnikov, ipd.),
  - temperaturni in tlačni nivoji pri distribuciji toplote in v procesu.

- Opis objektov, proizvodnih hal in skladišč:

  - podatki o porabi toplote in hladu za objekte in pisarne, če so na voljo,
  - površina objektov, zasedenost in število zaposlenih.

3.2.2 Priprava izvajalca energetskega pregleda

Običajno je izvajalec EINSTEIN energetskih pregledov strokovnjak na področju pogonskih sredstev (toplote in hladu), vendar ne more biti tudi strokovnjak za vse vrste industrij. Pomembno je, da pridobi vsaj osnovno znanje o problemih različnih vrst industrij. Podatke mora pridobiti pred navezavo stika s podjetjem ali vsaj pred prvim obiskom.

Na voljo imamo veliko podatkov za različne vrste industrij, vendar imamo v veliko primerih omejen dostop do pravih podatkov ali pa njihovo pridobivanje zahteva veliko časa.

EINSTEIN orodje vsebuje uporabne povezave za hitro in enostavno pridobivanje osnovnih informacij v večini industrij, ki jih lahko razširimo glede na razpoložljiv čas in glede na naše potrebe. EINSTEIN orodje daje velike količine spletnih povezav, biblografskih podatkov in dodatne dokumentacije.

Izvajalec mora imeti vpogled v naslednje osnovne teme:

- Kateri so najpomembnejši procesi v določeni vrsti industrij glede na rabo energije?
- Katere so obstoječe možnosti procesnih tehnologij, njihove glavne prednosti in pomanjkljivosti?

3.2.3 Osnovni vprašalnik za zbiranje podatkov na daljavo

EINSTEIN metodologija energetskih pregledov uporablja osnovni vprašalnik za pridobivanje podatkov, ki lahko kasneje še nadgradimo z izčrpnejšimi informacijami ('izčrpni dodatki'). Vprašalnik lahko pošljemo v podjetje skupaj s spremnim besedilom, tako da lahko tehnično osebje ta vprašalnik izpolni. Vprašalnik je v tiskani in elektronski obliki (glej prilogo). Bolj zaželeno je, da podjetja podajo informacije v elektronski obliki, ker lahko podatke takoj prenesemo v EINSTEIN računalniško orodje.

Pomembno je, da upoštevamo, da lahko prvo oceno naredimo že z zelo malo podatki, vendar je ta analiza groba in ne vedno zanesljiva. Z več podatki analizo in ustrezna priporočila izboljšamo.

EINSTEIN orodje z vnešenimi nepopolnimi podatki poskuša oceniti manjkajoče parametre, izvede izračune, ki so s temi podatki možni in ustvari seznam najpomembnejših dodatnih podatkov, ki jih moramo še pridobiti (glej poglavje 'Preverjanje doslednosti' v Priročniku)

EINSTEIN korak 2: pridobivanje podatkov

> priprava podjetja

> priprava izvajalca

> pridobitev podatkov na daljavo

3.3 Priprava na obisk: Analiziranje prvih podatkov

3.3.1 Analiziranje prvih podatkov

Analiziranje prvih podatkov lahko izvršimo z EINSTEIN računalniškim orodjem. Najprej vnesemo pridobljene podatke v računalniški program. Program nam poda statistiko in oceno razpoložljivih informacij in preveri doslednost podatkov.

V prvem koraku analize podatkov dobimo sledeče informacije:

- Seznam velikih nedoslednosti podatkov (npr. porabo goriva, ki ga sploh ne uporabljajo),
- Seznam potrebnih dodatnih podatkov, ki jih program ne more izračunati ali oceniti iz razpoložljivih podatkov.

3.3.2 Dodatne informacije iz telefonskega pogovora

V primeru, da smo pri analizi prvih podatkov odkrili nedoslednosti ali pomanjkanje osnovnih podatkov, ki so potrebni za grobo oceno, moramo stopiti v stik s podjetjem za dodatna pojasnila in podatke.

Po spremembi vnešenih napačnih podatkov, ponovno preverimo njihovo doslednost.

Po omenjenem koraku moramo poznati vsaj naslednje podatke:

- Proizvedeno količino glavnih proizvodov.
- Količino porabe celotne energije za gretje.
- Največje porabnike toplote in hladu in vsaj grobo oceno njihove rabe energije.
- Glavno opremo sistema dobave toplote in hladu in vsaj razpoložljivo nominalno moč; približno shemo distribucijskega sistema toplote in hladu (kateri kotel dobavlja toploto za kateri proces ipd.).
- Temperaturne nivoje dobavne toplote in glavne porabnike toplote.

3.3.3 Pridobitev podatkov za primerjavo (benchmarking)

V tem koraku že imamo nekaj podrobnih podatkov o podjetju, o proizvodnih procesih in proizvodih. Zato lahko določimo referenčne vrednosti iz podobnih industrij.

Viri informacij za primerjavo so:

- EINSTEIN računalniški program razpolaga s podatkovno bazo primerjav (benchmarking), s katerimi lahko hitro najdemo referenčne vrednosti za veliko vrst industrij.
- V referenčnih dokumentih lahko dobimo dodatne informacije (xxx priporoča za WP2 poročilo in / ali seznam referenc na spletni strani EINSTEIN-a ipd.).

Za natančnejše informacije o primerjavah glejte podpoglavje 3.6.5.

3.3.4 Pridobitev osnovnega znanja za določeno industrijo

Z razpoložljivimi informacijami o določenih vrstah industrij lahko poglobimo znanje o proizvodnih procesih in proizvodni opremi, katere bomo srečevali pri energetskih pregledih, kot smo že omenili v podpoglavju 3.2.2.

- Pridobimo informacije o opremi in možnih tehnoloških alternativah.
- Pridobimo informacije o specifični opremi za dobave energije in možnih tehnoloških alternativah.

3.3.5 Prepoznavanje možnih ukrepov

Z znanimi informacijami s katerimi razpolagamo lahko že izvedemo celotni energetski pregled, od pridobivanja podatkov do podajanja predlogov.

Četudi so podatki še vedno nepopolni in so tudi rezultati še nenatančni, moramo nadaljevati s pregledom, da podamo prve ideje o višini možnih prihrankov, približne ocene naložb ipd. Ti podatki in zbrane ideje so lahko zelo koristne pri prvem obisku v podjetju.

To nam ne bo vzelo veliko časa, ker EINSTEIN računalniški program lahko vse delo samodejno opravi sam.

Kadar premišljujemo o možnih izboljšavah, moramo upoštevati podatke iz obstoječe dokumentacije o najboljših razpoložljivih tehnologijah (BAT - best available technologies) za določeno vrsto industrije in njihovo problematiko. EINSTEIN računalniško orodje nam pomaga za lažji dostop do razpoložljivih podatkov.

3.3.6 Seznam prioritet za nadaljna poizvedovanja in zbiranje podatkov

Če želimo opraviti enostaven energetski pregled se moramo osredotočiti na najpomembnejše vsebine. Če želimo opraviti razširjen energetski pregled ne smemo pozabiti pomembnih podatkov. V nekaterih primerih lahko pridemo v navzkrižje med enim in drugim. Zato je dobro, da imamo seznam prioritet, katere informacije bomo med pregledom najprej iskali in katere informacije moramo pridobiti čeprav bo za to potrebno precej truda.

Po pregledu moramo imeti vse potrebne informacije, da ocenimo možnosti predlaganih rešitev in se moramo izogibati zbiranju nepotrebnih podatkov, še posebej če jih je težko pridobiti. Na primer, če želimo kot ukrep predlagati solarni sistem za proizvodnjo toplote, moramo pridobiti potrebne informacije o strukturi in velikosti strehe in velikosti zemljišča, kje so osenčenosti ipd. Medtem ko za vgradnjo toplotnega prenosnika ne nadlegujemo podjetja z zahtevanjem podatkov o arhitekturi zgradb ipd. V primerih, ko nek proces porabi le 0,3 % od celotne porabe energije v podjetju, ne tratimo čas z pridobivanjem tehničnih podatkov za ta proces.

EINSTEIN korak 3: Priprava na energetski pregled. Analiziranje prvih podatkov.

> analiziranje prvih podatkov

> preverjanje doslednosti podatkov

> primerjava podatkov

> pridobivanje znanja o procesih / podjetjih

> prepoznavanje možnih ukrepov

> določevanje prioritet energetskega pregleda

3.4 Hitra in groba ocena

Kot rezultat analiziranja prvih podatkov dobimo hitro in grobo ocena in prvo poročilo. V tem poročilu podamo sledeče informacije:

- Določitev najpomembnejših procesov, ki rabijo toploto in hlad in približno količino porabljene energije.
- Prve količine potreb po toploti in hladu po temperaturnih nivojih in proizvodnih režimih; komulativne krivulje toplotnih potreb.

In na osnovi teh analiz ter potreb po toploti in hladu:

- Določitev možnih tehnoloških rešitev za učinkovito dobavo toplote in hladu.
- Red velikosti dimenzioniranja potrebne opreme.
- Ocena pričakovanih ekonomskih in energijskih učinkov.

Ta prva študija ˝kaj bi bilo mogoče narediti˝ lahko pomaga tako nam kot tudi podjetju, da se osredotoči na iskanje potrebnih informacij za tehnološke rešitve katerim bomo najverjetneje posvečali največ pozornosti.

3.4.1 Kako izvesti prvo poročilo hitre in grobe raziskave?

EINSTEIN ˝hitro in grobo˝ prvo poročilo EINSTEIN računalniško orodje izdela samodejno z uporabo možnosti ˝poročilo˝ (Možnost Izdelava poročila).

Ekonomska ocena predlagane sheme sistema, ki ga dobimo z EINSTEIN računalniškim orodjem, je tako natančna, kot so natančni vnešeni podatki o opremi in stroških podsistemov. Ti podatki so v veliki meri odvisni od lokalnih in nacionalnih pogojev in si dane vrednosti tolmačimo samo kot grobe oz. približne vrednosti.

3.4.2 Na začetku ne obljubljajte preveč!

Kot smo že prej omenili je predstavitev prvega poročila lahko zelo uporabna za okvirni pogled o možnih rešitvah in za lažje začrtanje naslednjih poti. S približnimi vrednostmi lahko pomagamo tehničnemu osebju ali lokalni oblasti, da prepričajo podjetje o izboljšavah, ki jih pridobijo z energetskim pregledom ali da poskušajo pridobiti finančna sredstva.

Vseeno ne smemo podati preveč natančnih podatkov (še posebej podatkov o ekonomskem stanju), ker še nimamo trdne osnove. Podjetju moramo jasno razložiti, da so predstavljene vrednosti le grobo ocenjene, ki jih lahko z nadaljnimi analizami še zelo spremenimo.

EINSTEIN korak 4: Poročilo "hitre & grobe" ocene

> izvedba prvega poročila

> neobvezno: predstavitev v podjetju

3.5 Obisk podjetja (ali alternativno: drugo zbiranje podatkov na daljavo)

3.5.1 Neobvezno: predstavitev in razprava o prvem poročilu hitre in grobe raziskave

Če se odločimo, da bomo v podjetju predstavili prve rezultate eneregtskega pregleda, je to odličen trenutek, da se dogovorimo tudi za ogled proizvodnje in proizvodnih sistemov. Na predstavitvi povzamemo zaključke prve faze energetskega pregleda.

3.5.2 Intervjuji in ogled proizvodnje za natančnejšo zbiranje podatkov

3.5.2.1 Zbiranje podatkov v pisarni podjetja

Prvi korak, ki ga napravimo v podjetju ob prvem obisku, je predstavitev sebe in vseh sodelujočih in zbiranje osnovnih informacij s strani podjetja, kdo je zadolžen za kaj, kdo bo vodja projekta, kdo pozna tehnične podatke o procesih in procesni opremi ipd.

Pri tem lahko uporabimo osnovni EINSTEIN-ov osnovni vprašalnik, ki je že mogoče delno izpolnjen, da lahko opravimo razgovore in vprašamo po naslednjih podatkih:

- *Splošnih informacijah podjetja*: kaj in koliko proizvedejo; kakšen je proizvodni proces, kakšne so vrednosti (promet, raba energije, število zaposlenih); na koliko izmen delajo, kdaj so dopusti ipd. V tem času je dobro poizvedeti o možnih širitvah proizvodnje in možni projektih v prihodnosti, ki bodo popolnoma spremenili trenutno stanje; kakšne so možnosti popolne zaustavitve procesnih linij zaradi nekonkurenčnosti ipd.

- *Računih za električno energijo in tarifah*: poskušamo pridobiti informacije za nekaj preteklih let (npr.za zadnja tri leta), podatke o rabi energije za posamezne procesne enote / proizvodni proces / procesne operacije.

- *Podatke o procesu*: v mnogih industrijskih podjetjih so znani le podatki o skupni rabi energije, ne pa podatki o porabi za posamezne procesne operacije. Mnogokrat je edini način določanja distribucije toplote z natančno analizo procesnih operacij (splošni potek za pridobitev teh informacij je prikazan na sliki 20). Zelo pomembno je, da razumemo kako posamezni proces deluje; kakšen je obratovalni režim in kakšne so temperature v procesih.

  Nadalje je priporočljivo, da zberemo dodatne informacije o posameznih komponentah, ki imajo potrebo po toploti:

  - vtoke in iztoke fluidov: prostorninski ali masni pretok in temperaturni nivoji (vtok / iztok).

  - masa ali količina, ki jo moramo segreti na začetku procesa, število šarž ali zaustavitev, začetna temperatura v opremi.

  - toplotne izgube procesne opreme in procesnih operacij: potrebna moč, ki jo potrebujemo za vzdrževanje delovne temperature. Ta podatek lahko vključimo v potrebno moč za kompenzacijo toplotnih izgub, v potrebno moč za prehod iz ene v drugo fazo delovnega fluida (vretje, sušenje) ali v potrebno moč za kemične reakcije. To je pogosto najtežji del vrednotenja, ker npr. običajno ne poznamo koeficientov toplotnih izgub opreme. Te podatke lahko izračunamo. Na primer, če vemo za koliko se oprema ohladi iz temperature T_P na končno temperaturo T', v določenem času Δt, ali če poznamo približno maso opreme in debelino izolacije, oz. pri sušenju nam razlika v vlažnosti mokrega in suhega proizvoda pove potrebno količino toplote za uparjanje ipd.

EINSTEIN orodje omogoča izvedbo dodatnih izračunov pri najpogostejših primerih.

- *Podatki o opremi za dobavo toplote in hladu*: izdelamo seznam opreme in najpomembnejših tehničnih podatkov (vključno s starostjo opreme, da lahko presodimo ali je sploh smiselno predlagati zamenjavo); poskušamo pridobiti podatke, ne le o nominalni moči ampak tudi o proizvedeni toploti ali hladu opreme (obratovalne ure), četudi dobimo informacije kot so ˝to opremo uporabljamo le nekajkrat letno, večino se ta oprema uporablja v primeru izpadov drugih naprav¨ ali ˝dva kotla obratujeta polno obremenjena in nekajkrat letno nam zmanjka pare˝. Ne smemo pozabiti pripraviti blokovnega diagrama in prikazati katera oprema dobavlja toploto in hlad kateremu procesu.

- *Podatki o distribuciji in shranjevanju toplo*te: dolžina in premer cevja in kanalov; temperature, tlaki in pretoki. S temi podatki si pomagamo pri natančnem spoznavanje porabe toplote; pri skladiščenju toplote moramo dobiti podatke o količinah, temperaturah, tlakih in izolaciji.

- *Obstoječi sistem rekuperacije odpadne toplote*: določimo obstoječe toplotne prenosnike, vključno s tehničnimi podatki in potrebnimi pogoji za obratovanje (pretoki in temperaturami toplih in hladnih tokov)

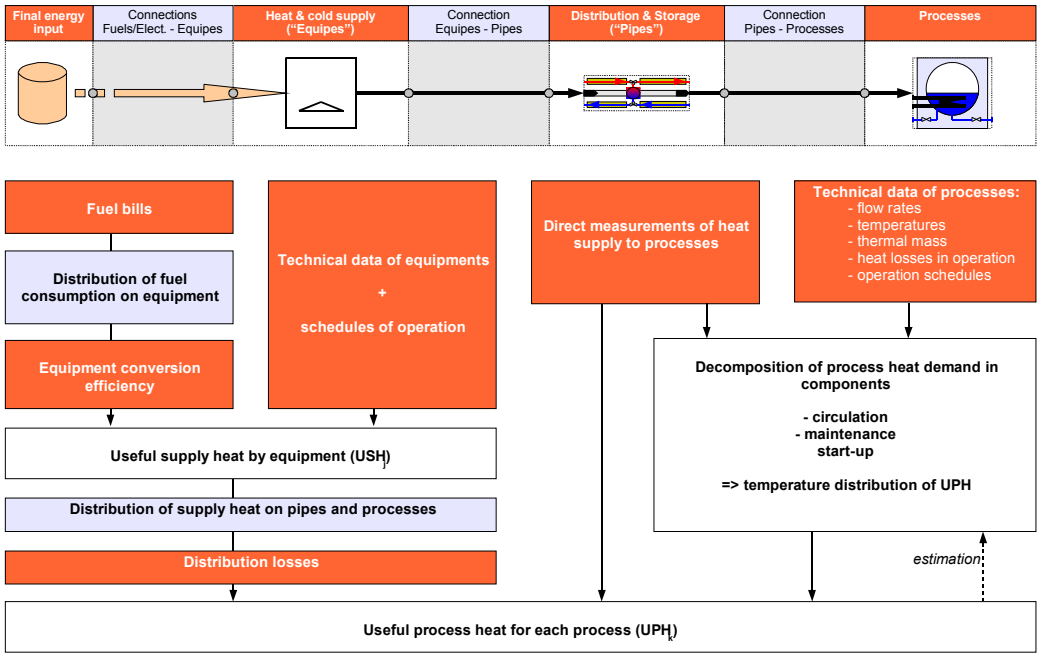
- *Obnovljivi viri energije*: določimo razpoložljivo površino streh in zemljišč za možno gradnjo solarnega sistema (velikost, usmerjenost strehe, statično kapaciteto strehe, oddaljenost od strojnice, kotlovnice in/ali procesov); ocenimo razpoložljivost biomase ali bioplina (količino ostankov biomase iz proizvodnje ali od bližnjih dobaviteljev); ali obstajajo težnje in želje po rabi obnovljivih virov, možnosti ekonomskih prihrankov (npr. prispevanje k ohranjanju okolja, tržni vidiki ipd.).

- *Potrebe po toploti in hladu v stavbah*: v nekaterih podjetjih je potreba po toploti in hladu v stavbah pomemben del celote; naredimo popis obstoječih stavb, uporabljenega sistema gretja in prezračevanja; kakšne so temperature in kdaj se sistem uporablja ipd.; poskušamo pridobiti tudi gradbene načrte stavb (PID – projekte izvedenih del).

- *Ekonomski in finančni parametri*: kakšni so obratovalni in vzdrževalni stroški (glede na račune za energijo); kako so financirane naložbe v sistem dobave energije (interni ali zunanji viri financiranja); kakšne so zahteve glede vračilnih rokov in stopnje donosnosti.

V mislih in ali zapisano moramo imeti različne sezname podatkov preden zapustimo podjetje. Vendar v večini primerov pridobimo podatke glede na razvoj pogovorov z zaposlenimi in ne po naših seznamih.

Če želimo imeti celotni pregled nad zbranimi in še manjkajočimi podatki si moramo delati zapiske po zgledu iz slike 20. Po končanem neformalnem pogovoru, ko smo se seznanili z veliko procesnimi operacijami in procesno opremo in tudi pridobili informacije o zaposlenih in njihovih problemih s konkurenco, moramo še vedno obdržati rdečo nit in preveriti če nam manjka še kakšen pomemben podatek.



Slika 20: Možne poti pridobivanja informacij o potrebi po toploti in hladu v različnih porcesih.

3.5.2.2 Ogled proizvodnje

Ko dobimo občutek, da smo dobili vse podatke, ki jih lahko zberemo v pisarni, si ogledamo proizvodnjo. Poskrbeti moramo, da si lahko ogledamo pomembne procese in sisteme za dobavo toplote in hladu. Če nam dovolijo, tudi fotografiramo.

Ogled proizvodnje naj nam pomaga pri poglobitvi znanja o podjetju in o delovanju njihovih proizvodnih procesov. Med ogledom sprašujemo po natančnejših podatkih, na katere smo prej pozabili.

Poskušajmo predvideti morebitne probleme, ki jih je potrebno rešiti za prilagoditev sistemov, ki jih mogoče že imamo v mislih:

- Možne priključke novih poti distribucije toplote in hladu ali nove opreme.
- Razpoložljivi prostor za novo opremo ali skladiščenje.

Če smo v pisarni govorili le s tehničnim direktojem, poskušajmo med ogledom proizvodnje govoriti tudi z vzdrževalci, ki nam lahko podajo dragocene podatke, ki so jih pridobili z dolgoletnimi izkušnjami. Sprašujemo npr. ¨...kakšna je temperatura rezervoarja, ko pridete zjutraj na delo?˝ ipd.

3.5.3 Hitro preverjanje doslednosti in popolnosti že na ogledu

Če že med pogovorom uporabljamo svoj prenosni računalnik in imamo možnost vnosa pridobljenih podatkov v EINSTEIN računalniški program, lahko preverimo doslednost in popolnost podatkov že v samem podjetju:

a) Preverimo, če so podatki dosledni ali obstajajo nsprotujoči si podatki (npr. podatki brez enot ipd.).

b) Preverimo, če nam manjkajo pomembni podatki, tako da lahko po teh podatkih takoj povprašamo.

c) Na ta način lahko že takoj zberemo dovolj informacij, da EINSTEIN računalniški program izdela prve ideje o velikosti alternativnega sistema dobave (npr. če vemo koliko dodatnega prostora za skladiščenje bomo potrebovali, lahko med obiskom pogledamo, če je na razpolago dovolj prostora za vgradnjo ipd.)

3.5.4 Meritve med ogledom

V mnogih proizvodnih procesih količino celotne letne (ali pogosto tudi mesečne) potrebe po energiji dobimo iz računov za dobavljeno energijo, vendar iz teh podatkov nam ne moremo dobiti porabe posamezne opreme in procesov. Vsekakor je velikega pomena, da imamo te podatke vsaj za najpomembnejše procese in za glavno opremo dobave toplote in hladu.

Že obstoječi podatki predhodnih meritev lahko pomagajo pri analiziranju potreb in porabe toplote in hladu v proizvodnih procesih in opremi. Zato je potrebno pridobiti infomacije o že izvedenih meritvah in informacije ali že in kje izvajajo monitoring.

V mnogih primerih bomo morali izvesti tudi dodatne meritve, da bomo pridobili podatke, s katerimi v podjetju ne razpolagajo. Nekatere meritve lahko opravimo že pri prvem obisku. Hitre in enostavne meritve za izračun toplih in hladnih tokov so sledeče:

Temperatura

Infrardeči merilnik za merjenje temperature neizoliranih cevi in posod nam podaja vrednosti delovnih temperatur. V primeru, da se temperature med procesom hitro spreminjajo, merimo kontinuirano določen čas s sprotnim shranjevanjem rezultatov. Če merimo temperaturo na površini izoiranih posod in ceveh dobimo osnovo za izračun toplotnih izgub.

V primeru, da poznamo masne pretoke v ceveh (pretok toplih tokov za segrevanje in hladnih tokov za hlajenje, pretok proizvoda), lahko z večurnimi meritvami pretokov in temperatur povratnih tokov dobimo informacije za izračun količine dobavljene toplote ali hladu.

Meritve masnih pretokov

Ultrazvočne merilnike za merjenje pretokov vode / medija lahko enostavno namestimo na cevi ne da bi pri tem posegali proizvodni proces. V kombinaciji z meritvami temperatur lahko hitro izračunamo energijske tokove. Zavedati se moramo, da s kratkotrajnim merjenjem (npr. samo nekaj ur) dobimo samo okvirno sliko o celotni proizvodnji, še posebej če imamo opravka s časovno spreminjajočo proizvodnjo.

Merjenje energijskih tokov lahko izvedemo na primarni strani dobave energije (vroči vodi, kondenzatu) ali na sekundarni strani (merjenje procesnega medija). Odločitev je običajno odvisna od razpoložljivih merilnih mest (dostop do cevi, izolacija, stanje cevi, regulacija ipd.). Spodnji (nepopolni) seznam možnih meritev nam poda idejo o možnih mestih za izvedbo meritev:

1. *Merjenje na strani procesnega medija ("sekundarna stran"):*

   - Merjenje pretoka procesnega medija (vode, zraka, proizvodov), ki ga grejemo v procesu.
   - Merjenje sveže vode, ki jo dodamo v posodo, ki jo stalno grejemo na določeno temperaturo (npr. pri pranju)

2. *Merjenje na strani dobave toplote ("primarna stran"):*

   - Merjenje pretoka in temperature vroče vode na vtoku in iztoku iz toplotnega prenosnika (za posredno dobavo toplote).
   - Merjenje pretoka in temperature vroče vode na vtoku (za neposredno dobavo energije).
   - Merjenje pretoka kondenzata iz enega procesa (ali iz več procesov, če imamo takšno regulacijo, da lahko rezultate meritev povežemo s posameznimi procesi).
   - Merjenje pretoka sveže vode, ki jo dodajamo v napajalni sistem parnega kotla (za določanje direktne porabe pare).

3.5.5 Program meritev

Če ugotovimo, da nimamo vseh informacij in jih ne moremo pridobiti z lastnimi meritvami, prosimo da nam meritve izvede nekdo od zaposlenih:

- Prosimo za zapisnik temperatur in tlakov ali izpis iz obstoječih merilnikov.
- Merilnik namestimo na želeno mesto in meritve zapisuje eden izmed zaposlenih v podjetju.
- Lahko določimo nekaj enostavnih poskusov, ki jih izvedejo zaposleni (npr. določanje grelnih in hladilnih krivulj določene opreme ipd.).

3.5.6 Razprava po ogledu podjetja

Po ogledu lahko podamo prve informacije in vtise:

- Skupaj s podjetjem določimo potrebne ukrepe, ki jih želimo podrobneje analizirati in katere ukrepe bomo izključili iz seznama prioritet.
- Določimo urnik nadaljnega dela: skrajni rok za pridobitev dodatnih informacij, skrajni rok oddaje poročila.

EINSTEIN korak 5: obisk podjetja

> predstavitev rezultatov prve ocene

> obisk podjetja in razgovori z zaposlenimi

> pregled novih podatkov

> izvedba meritev

> izdelava načrta meritev

> razprava

3.6 Analiza dejanskega stanja

3.6.1 Preveritev doslednosti in popolnosti podatkov

Sistemska analiza dejanskega stanja je začetna točka iskanja možnosti prihrankov energije. Vendar razlenjevanje celotne rabe energije na posamezne komponente in določanje glavnih energijskih tokov in virov zahteva pridobivanje velikih količin podatkov. Poleg točnosti morajo biti podatki tudi dosledni in popolni, da lahko zanesljivo predlagamo ukrepe.

Kot smo že poudarili v prejšnjem poglavju, obstaja več poti za določanje istih informacij. Nekaj primerov (Slika 20) podajamo v nadaljevanju:

- Podatek o porabi goriv v podjetju lahko dobimo v obliki energije; ali v enotah porabljenega goriva (m^3, L ipd.), iz katerih lahko izračunamo rabo energije z uporabo kurilnosti goriva.

- Proizvedeno toploto iz kotla lahko določimo na eni strani s količino prabljenega goriva ali na drugi strani z količino porabljene vroče vode; razen tega je lahko na iztoku iz kotla vgrajen tudi merilnik za merjenje proizvedene toplote.

Pri zbiranju podatkov dejanskega stanja se bomo morda soočili z enim ali dvema problemoma:

- *Preobilica informacij* in možna nasprotujoča si dejstva: preobilica pomeni, če imamo več možnosti izračuna istega parametra. V primeru, da je rezultat različnih izračunov enak, smo na pravi poti in na ta način je pravilnost naših izračunov dvakrat preverjena. V nasprotnem primeru, ko dve poti izračunov podata različna rezultata pa pridemo do problema izbire kateri je pravilni oziroma je mogoče, da dvomimo v oba rezultata.

- *Pomanjkanje informacij*. Lahko se nam zgodi, da ne moremo pridobiti potrebnih podatkov za izračune npr. imamo podatek o celotni potrebi po toploti (izračunane iz porabljene količine goriva) in podatek o potrebi po toploti za večino procesov, ampak manjka pa podatek kako je preostala toplota razdeljena med dva manjša procesa.

Preverjanje preobilice in popolnost informacij v kompleksnem sistemu je lahko zelo dolgotrajna naloga. Razpoložljiva orodja za preverjanje so:

a) matematične in fizikalne povezave med različnimi količinami, ki jih dobimo iz osnovnih fizikalnih zakonov (prvega in drugega zakona termodinamike ipd.) in fizikalnih lastnosti snovi.

- *Masna in energijska bilanca* opreme in podsistemov (iztok = vtok + izgube). Po zakonu o ohranitvi mase so parametri učinkovitosti ali razmerje masnih pretokov v mnogih primerih med 0 in 1.

- *Omejitve drugega zakona*: toplota samodejno prehaja le iz toplega na hladno. To nam lahko pomaga določiti maksimum in minimum določenih parametrov (npr. temperaturo).

- Fizikalne lastnosti materialov, še posebej lastnosti fluidov in goriv. Na primer, energija, ki jo prenašamo s fluidom, je povezana z razliko med masnim tokom in med specifično prosto entalpijo, ta pa je odvisna od specifične toplotne kapacitete, v primeru spremebe faze pa tudi od sestave pare in od uparjalne toplote.

- Obratovalni čas procesov in opreme je omejen zaradi dolžine dneva (24 h) in leta (8 760 h) ter od količine dopustov in vikendov.

b) inženirsko znanje o karakterističnih vrednostih ali omejenostih določenih količin:

- *Matematično* je učinkovitost kotla med 0 in 1 (ali med 0 in okoli 1.1, če uporabimo LCV in v primeru kondenzacijskega kotla). V praksi je nemogoče, da najdemo kotel, katerega učinkovitost je manjša od 0.1 oziroma je vrednost 0.999. Za nekondenzatne kotle so v praksi prisotne vrednosti med 0.7 in 0.95. Podobno lahko sklepamo tudi pri učinkovitosti distribucije v cevju in kanalih.

- *Padec temperature* v toplotnih prenosnikih (LMTD) je glede na drugi zakon termodinamike večji od 0 K. Vendar je v inženirski praksi meja še višja, nekje med 3 K in 5 K za prenos toplote med dvema tekočinama, pri prenosu toplote med tokovoma zraka pa je padec temperature 10 K. Podobno je tudi pri vtočnih in iztočnih temperaturah v zaprtem krogu: še nikoli ni bil načrtovan tokokrog, da bi bila razlika med vtokom in iztokom le 0,1 K ampak med 1 K in 2 K.

- *Toplotne izgube* nekatere procesne opreme so težko določljive. Vendar je glede na velikost toplotnega prenosnika in na dejstvo, da je celotni prenos toplote (sevanje in naravna konvekcija) iz vseh neizoliranih teles in pri temperaturah nižjih od 100°C v prostoru do 8 $W/m^{2\cdot}K$ in zunaj do 20 $W/m^{2\cdot}K$ (vključno z vetrom), če ni dodatnih izgub zaradi spremembe faze (npr. vrenja, kondenziranja in taljenja) ali kemičnih reakcij.

- *Čas gretja ali polnjenje/praznjenje* procesne opreme je redko kdaj višji od 50 % celotnega trajanje ene šarže, ali redkodaj višji od 2 uri do 3 ure pri kontinuiranem procesu, ki preko noči ne obratuje.

Medtem ko matematične meje dajejo ostre in jasne odgovore o resničnosti vrednosti parametra (da/ne) glede na celotni niz podatkov, so meje inženirskega znanja bolj nejasne. Za te omejitve v EINSTEIN-u razlikujemo med:

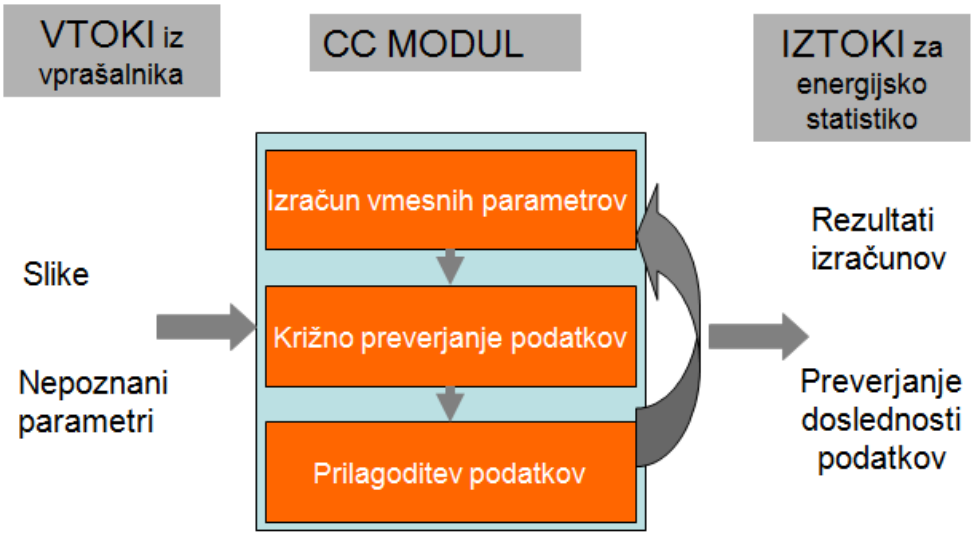
- *Praktičnimi mejnimi vrednosti*: to je obširna zbirka možnih vrednosti inženirskega vidika, ki vključuje 99.9 % praktičnih primerov.

- *Serijo značilnih vrednosti*: to je omejena serija vrednosti, ki naj bi veljale za približno 90 % praktičnih primerov (vendar se moramo zavedati, da je 10 % vrednosti izven te serije)

Osnovno preverjanje doslednosti v EINSTEIN-u razumemo kot pregled podatkov, ki jih poda podjetje, in so v matematičnem in fizikalnem razmerju dosledni ter pravilni z upoštevanjem inženirskega znanja o dejanskih mejnih vrednosti.

EINSTEIN računalniško orodje samodejno izvede osnovno preverjanje doslednosti. Če obstajajo nedoslednosti med podanimi podatki in mejnimi vrednostmi, bo program podatke semodejno popravil in podal seznam nastalih napak.

EINSTEIN računalniški program bo poleg osnovnega preverjanja doslednosti dopolnil manjkajoče podatke, ki jih lahko izračuna z korelacijami in omejitvami (slika 21).



Slika 21: Shema postopka osnovnega preverjanja doslednosti v EINSTEIN računalniškem programu. 'Ne-ji' pomenijo, da ni podatkov (prazni kvadratki).

3.6.2 Pridobivanje manjkajočih podatkov

Količina informacij in njihova natančnost za energetski pregled zavisi od temeljitosti energetskega pregleda. Za preliminarne ocene (hitre in grobe študije) potrebujemo manj infromacij, medtem ko za izčrpno analizo potrebujemo več in natančnejše podatke.

V večini primerov vseh teoretično potrebnih vrednosti ne moremo pridobiti brez truda. Običajno še posebej v manjših podjetjih, je lahko pridobivanje tudi najosnovnejših podatkov težavna naloga. Tudi po preverjanju doslednosti in popolnosti podatkov imamo lahko manjkajoče podatke ali podatke, katerih njihovo pravilnost je lahko zelo vprašljiva.

V teh primerih lahko manjkajoče podatke zamejamo s *tipičnimi vrednosti* iz inženirskih znanj. S pomočjo teh ˝značilnih vrednosti˝ lahko te majkajoče podatke kompletiramo. Pri tem pa moramo vedeti, da z oceno vrednosti samo predvidevamo njihove prave vrednosti in so možnosti nedoslednosti večje.

Vedno ko to storimo, moramo te vrednosti v poročilu jasno označiti:

"zaključki veljajo pod predpostavko A, B in C ..."

In če je mogoče moramo na koncu potrditi ali ovreči naše predpostavke.

In v primeru, da niti s svojim inženirskim znanjem ne moremo oceniti osnovnih podatkov, ki jih nujno potrebujemo za analiziranje, lahko:

a) pokličemo v podjetje in jim sporočimo, da s temi podatki ne moremo narediti niti grobe ocene in podati sprejemljivih ukrepov.

b) podamo hipoteze ali možne scenarije o manjkajočih podatkih: zapišemo vrednosti, ki bi lahko bile sprejemljive. Lahko naredimo več možnih scenarijev: en zelo dober, drugi zelo slab in tretji nekje vmes.

To je včasih bolje to kot, da ne naredimo ničesar, vendar moramo zgoraj navedene predpostavke zelo jasno označiti s **poudarjeno pisavo**.

Količina in točnost potrebnih podatkov za posamezne stopnje analize

EINSTEIN metodologija razlikuje med tremi stopnjami analize, v vsaki stopnji so strožje zahteve po količini in točnosti podatkov.

- *Stopnja 1: hitra in groba ocena*

  Za hitro in grobo oceno je dovolj, če imamo podatke o rabi energije in glavnih temperaturnih nivojih (procesnih temperaturah) največjih porabnikih energije v podjetju z minimalno natančnostjo[9].

- *Stopnja 2: EINSTEIN standarda stopnja analize*

  Za to stopnjo moramo poznati vsaj sledeče parametre z minimalno natančnostjo:

  - Rabo energije največjih porabnikov energije v procesu in njihova razčlenitev po potrebi ali po toploti in hladu za kroženje, vzdrževanje in zagon.

  - Vse temperaturne nivoje (vtok, iztok, proces) in obratovalni časi teh procesov in podatke o opremi za dobavo toplote in hladu.

  - Tokove odpadne toplote iz vseh največjih porabnikov energije v procesu.

- *Stopnja 3: natančna analiza*

  Za poglobljeno analizo moramo imeti vse podatke potrebne natančnosti iz EINSTEIN osnovnega vprašalnika.

Natančnost razpoložljivih podatkov, tako po kakovosti (moramo jim zaupati) kot po količinah (imajo lahko le določeno stopnjo odstopanja ± xy %), zavisi od:

- *Vira informacij*. Včasih so v velikih podjetjih vrednosti o rabi energije merjene z merilno opremo in so podatki shranjeni v sofosticiranih sistemih energijskega knjigovodstva, medtem ko v manjših podjetjih poznajo le povprečne obratovalne pogoje in skupno rabo energije iz računov. Raba energije za eno leto ali celo enomesečna raba mogoče ni najboljši pokazatelj o rabi energije v podjetju.

- *Postopka pridobivanja podatkov.* Napake se lahko pokažejo v času vnosa podatkov v računalniški program ipd. (npr. ali smo pravilno zapisali podatke v vprašalnik? Ali je prišlo do zmešnjave pri zapisu enot? Kdo je vpisoval podatke v vprašalnik? ipd.)

- Stopnje natančnosti. Natančnejša analiza zahteva natančnejše podatke. Pri tem lahko pride do višje stopnje tveganja, da bodo podatki manj točni (npr. ali potrebujemo vrednosti na letni ravni? Ali glede na uro? Ali želimo celotno potrebo po energiji? Ali potrebo po energiji razdelimo po posameznih procesih? ipd.)

Če obstaja parameter, katerega točnost je vprašljiva, moramo to v poročilu jasno označiti, tako kot pokažemo katere vrednosti so ocenjene oziroma predpostavljene v naših scenarijih.

3.6.3 Podrobna razčlenitev potreb

Razčlenitev rabe energije po procesih, opremi, gorivih in temperaturnih nivojih je zelo pomembna, če želimo jasno sliko o rabi energije v proizvodnji. Statični podatki o dejanskem stanju je začetni korak na poti k odločanju o ukrepih zniževanja rabe energije in uporabljenih tehnologijah.

[9] *Kot minimalno natančnost mislimo vrednost napake manjše od +/- 50 % !*

Ko izvedemo primerjavo z referenčnimi podatki iz sorodne ali iste industrijske branže nam podatek o celotni rabi energije dovoljuje vpogled v rabo energije in možne (prioritetne) poti prihrankov energije. Ko proučujemo več različnih alternativ, nam dejanska raba energije in njena sestava služi kot vodilo pri analiziranju negativnih vplivov na okolje predlaganih ukrepov.

V nadaljevanju podajamo in komentiramo najpomembnejše podatke o rabi energije.

- *Razčlenitev rabe energije po procesih, opremi in vrsti energentov*: Določitev osnovnih porabnikov energije po procesih, opremi in vrsti goriva, ki so odgovorni za visoke račune za energijo. Z ukrepi za dvig njihove enrgijske učinkovitosti bomo dosegli najvišje prihranke.

- Analiziranje rabe energije *po temperaturnih nivojih*. Dovoljuje oceno možnosti rekuperacije odpadne toplote in uporabo učinkovite nizko-temperaturnih tehnologij, kot so sončna energija, toplotne črpalke, hladilna voda iz soproizvodnje ipd.

- Analiza rabe energije po rabi primarne energije, emisij CO_2 in drugih emisij: dovoljuje oceno okoljskih vplivov.

- Razčlenitev po rabi energije: energijski intenzivnosti (EI) in specifični rabi energije (SEC - specific energy consumption): dovoljuje primerjavo z referenčnimi podatki in pripravi realne cilje rabe energije.

Razčlenitev v različnih časovne stopnje je zelo koristna za prihodnja razumevanja:

- *Letni podatki* prikažejo glavne porabnike energije v procesih, opremo in vrstah energije in podajo splošne informacije o mestih, kje bi najprej morali pričeti z iskanjem ukrepov za energijsko učinkovitost.

- *Mesečni podatki* so potrebni za preučevanje sezonskih ali prostorskih temperaturno odvisnih sprememb in potrebo po energiji (npr. gretje prostorov, sušenje, sezonska nihanja v pivovarni) in po dobavi (solarni sistemi). Mesečni podatki so potrebni za proučevanje izvedljivost izbranih tehnologij.

- *Urni podatki* o potrebah in dobavah toplote so pomembni za določanje konic, analiziranje možnosti rekuperacije odpadne toplote in za določanje zahtev po akumulaciji toplote in hladu.

Vse te razčlenitve potreb po energiji v podjetju lahko samodejno opravi EINSTEIN računalniški program, tako za dejansko stanje kot tudi za prihodne scenarije na osnovi predlaganih ukrepov.

3.6.4 Analiza dejanskega obratovanja obstoječe opreme

Tehnični podatki o opremi so zelo pomembni pri določanju učinkovitosti energijskih sistemov. Najpomembnejši parametri so stopnja energijska pretvorbe in kapaciteta segrevanja in/ali hlajenja.

V mnogih primerih so dostopne informacije samo podatki o nominalnih vrednostih iz tehničnih listov proizvajalca opreme ali vrednostih zapisanih na opremi.

Zavedati se moramo, da je dejanska učinkovitost opreme zaradi motenj, ekstremnih delovnih pogojev ali drugih faktorjev, lahko popolnoma različen od danih podatkov. Zato tudi v primeru, če poznamo podatke, bi bilo vseeno dobro primerjati dajansko učinkovitost opreme podanih vrednostmi.

Ena izmed možnosti določitve učinkovitosti obratovanja opreme je merjenje vtokov in iztokov. Npr. če je poraba goriva pri proizvodnji toplote v kotlu znana iz meritev lahko povprečno učinkovitost kotla izračunamo.

Meritve dimnih plinov še en način pridobivanja podatkov o učinkovitosti pretvorbe energije, ker sta temperatura dimnih plinov in nepopolno izgorevanje dominantna faktorja pri izgubah pri napravah za zgorevanje (kotlih, pečeh ipd.).

Če imamo meritve na voljo, vse potrebne izračune samodejno izvršimo z EINSTEIN računalniškim programom. V primeru pomembnih razlik med nominalno in dejansko učinkovitostjo opreme nam program izpiše opozorilno sporočilo.

3.6.5 Primerjava (benchmarking)

3.6.5.1 Kaj so primerjave?

Primerjava podobnih procesnih parametrov (Benchmarking)[1] nam kaže možnosti izboljšanja naših procesov oz. Sistemov z uporabo najboljših praks oz. BAT. Cilj je omogočiti ocenjevanje energijskih učinkovitosti v podjetju glede postavljanja ciljev z ozirom na primerjalne procese.

V EINSTEIN-u uporabljamo sledeče referenčne vrednosti:

- Primerjava je podana z minimalno in maksimalno vrednostjo (B_{min}, B_{max}), ki opisuje najboljše tehnike rabe energije v obstoječih industrijskih sektorjih.

- Doseči želimo ciljno vrednost (B_{tar}) energijske intenzivnosti ali specifične rabe energije, ki jo lahko dosežemo, če uporabimo ekonomsko izvedljive najboljše razpoložljive tehnologije. Kadar niso podane jasne ciljne vrednosti, predpostavljamo, da so industrije z dobro prakso tiste industrije, ki imajo rabo energije nižjo za 10 % od vrednosti med B_{min} in B_{max}.

- Dobre prakse[2] so dokumentirane strategije in taktike, ki jih uporabljajo uspešna podjetja. Takšna podjetja najdemo iz izčrpnih razgovorov z njihovimi energetskimi managerji, iz poročil podjetij, literature in drugih virov.

3.6.5.2 Klasifikacija kazalnikov na referenčne vrednosti

V EINSTEIN orodju uporabljamo tri vrste referenčnih razmerij, ki so odvisne od referenčnih vrednosti:

- *Energijska intenzivnost*: pod energijsko intenzivnostjo razumemo rabo energije na denarno enoto proizvoda. Vrednost proizvoda lahko določimo kot prihodek ali kot proizvodni strošek (to je približna vrednost razlik med prodajno ceno in dohodkom podjetja). Če ni drugače označeno, uporabljamo prodajno ceno. Če se primerjave nanašajo na denarno enoto, moramo jasno povedati valuto in starost podatka (leto).

- *Specifična raba energije (na enoto proizvoda)* je raba energije vezana na obseg proizvodnje (merjena v enotah, t, L ipd., npr. celotna raba energije na kilogram koncentriranega soka, raba energije na liter proizvedene kemikalije ipd.).[10]

- *Raba energije na enoto vmesnega proizvoda*. Raba energije na količine proizvedenega vmesnega proizvoda je raba energije v določenih procesnih operacijah, glede na količino proizvoda (merjenega v enoti, t, L ipd., npr raba energije na kilogram ali liter destilata).

3.6.5.3 Klasifikacija po vrsti energije

- *Električna energija proti gorivom*. V modulu Primerjava, je podatek o rabi energije razdeljen na električno energijo in toploto, ker so ti podatki lažje dostopni (iz računov za električno energijo in gorivo).
- *Celotna raba končne energije*. Podatke o celotni rabi energije dobimo s seštevkom končne energije iz električne enrgije in končne energije iz goriv.

[10] *Skupna raba energije, ki je ne moremo povezati s proučevano proizvodno linijo ali proizvodom, bi bilo potrebno proučiti glede na vrednost danega proizvoda v celotnih prihodkih podjetja.*

- *Celotna raba primarne energije*. Celotna raba energije je primarna energija. Kadar je ta parameter razpoložljiv, ga uporabimo za celotno primerjavo znotraj podjetja.

3.6.5.4 Postopek primerjav z EINSTEIN-om

Primerjalno analizo energijske učinkovitosti podamo s primerjavo dejanskih vrednosti specifičnega kazalnika I (npr. specifične rabe energije na tono proizvoda) z referenčno vrednostjo B_{tar} , za specifično branžo. To pomeni, da ima tako dejanska I kot referenčna vrednost B_{tar} podoben vpliv na spremembe v izbarnem sektorju.

Referenčna vrednost B_{tar} je določena kot smo zapisali zgoraj. Razliko med I in B_{tar} uporabimo kot merilo energetske učinkovitosti, ker prikazuje kateri nivo energijske učinkovitosti bomo v podjetju dosegli, če uporabimo najboljše razpoložljive tehnologije. Manjša je njuna razlika, višja je energijska učinkovitost obravnavanega procesa. Razmerje med I in B_{tar} (razmerje imenujemo indeks energijska učinkovitosti – EEI, enačba 3.1) lahko primerjamo z drugi podjetji.

$$EEI = \frac{I}{B_{\text{tar}}} \cdot 100\,\% \qquad (3.1)$$

I specifični kazalnik rabe energije,
B_{tar} referenčna cilljna vrednost.

Če smo uporabili najboljša tehnologije je *EEI* enak 100. Če je *EEI* 105, pomeni, da I povprečno za 5 % višji od referenčne vrednosti, in lahko z nadgradnjo obstoječega procesa z referenčno tehnologijo, prihranimo 5 % energije.

3.6.5.5 Viri podatkov za primerjalno analizo

Podatke za primerjalno analizo smo izbrali iz obstoječih referenčnih dokumentov najboljših razpoložljivih tehnologij (BREF) in ostale literature ter virov. Z bazo podatkov EINSTEIN računalniškega orodja lahko določimo kazalnike in primerjave / cilje. Za vsak referenčni podatek je podan vir.

Primerjalni podatki so razpoložljivi tudi v literaturi za posamezne vrste industrij, za določene sektor ali za določene procesne operacije.

a) Klasifikacija po vrstah industrij

EINSTEIN podatkovna baza vključuje nekatere primerjalne podatke za industrije iz NACE. Ostale vrste industrij lahko v prihodnosti tudi dodatno vključimo.

b) Klasifikacija po procesnih operacijah

V proizvodnji dobrin, je procesna operacija osnovni korak procesa. Na primer v proizvodnji mleka nastajajo homogenizacija, pasterizacija, hlajenje in pakiranje posamezne procesne operacije, ki tvorijo celotni proizvodni proces. Proces ima lahko veliko procesnih operacij, v katerih proizvedemo želen proizvod.

Reference:

[1] BAT Reference Documents (BREFs) for different industrial sectors are published by the European Union on http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.
[2] Review of Thermal Auditing Practice and Tools. EINSTEIN Project, Deliverable D2.2.

EINSTEIN korak 6: Analiza dejanskega stanja

> preverjanje doslednosti podatkov

> ocenjevanje/pridobivanje manjkajočih podatkov

> razčlenitev porabe

> učinkovitost opreme

> primerjalna analiza

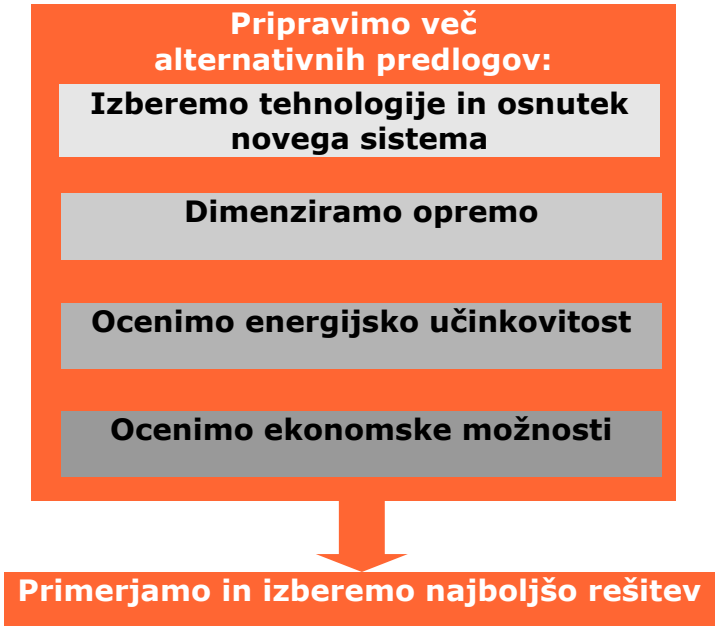
3.7 Konceptualno načrtovanje ukrepov in ciljne rabe energije

Kot smo omenili v poglavju 1.3, sistematska analiza možnosti energijskih prihrankov zahteva:

- Znižanje potreb po toploti z optimirajem procesa.
- Znižanje potreb po dobavi toplote z rekuperacijo odpadne toplote in integracijo procesa.
- Soproizvodnja in poligeneracija.
- Dobava preostale toplote in hladu z energijsko učinkovitimi tehnologijami, raba obnovljivih virov energije kjerkoli je mogoče.

Najprej moramo izdelati načrt in obseg alternativnega sistema dobave toplote in hladu. Predlagamo različne alternative, ki jih med seboj primerjamo glede na njihovo energijsko učinkovitost in ekonomsko izvedljivost. Izberemo optimalno rešitev.

Analiza potreb po toploti in hladu in možnosti rekuperacije odpadne toplote ter integracije procesa nam omogoča postavitev ciljne rabe energije. Ciljne vrednosti rabe energije nam služijo kot referenčne vrednosti pri vrednostenju realnih procesov.



Slika 22: Koraki priprave in ocenjevanja alternativnih predlogov (EINSTEIN koraki 7 – 9).

3.7.1 Optimiranje procesa: seznam učinkovitih tehnologij za procesne operacije, možnosti prihrankov rabe energije

Ko smo zbrali podatke o energijskih potrebah, jih analizirali in primerjali, je naslednja primerjalna analiza korak, ki pokaže kateri ukrepi obetajo izboljšanje energijske učinkovitosti v proizvodnih procesih.

Obstaja veliko literature, ki opisujejo ukrepe energetske učinkovitosti različnih področji. Razvoj na tem področju imajo inženirji, strojniki, proizvajalci in dobavitelji opreme ter raziskovalci. Evropska Unija je izdelala dokumente za posamezna področja, ki so označeni pod ˝najboljše razpoložljive tehnike (BAT - best available techniques[11])˝, ki ciljajo tudi na energetsko učinkovitost.

BAT referenčni dokumenti (BREFs) za različne vrste industrij so objavljeni na spletni strani Evropske Unije http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm. Še posebej so za nas pomembni dokumenti:

A. *Energijska učinkovitost:*

- Celovit nadzor in preprečevanje onesnaževanja, Referenčni dokument o tehnikah eneregijske učinkovitosti (Integrated Pollution Prevention and Control, Draft Reference Document on Energy Efficiency Techniques), Junij 2008.

B. *Sistemi dobave toplote in hladu:*

- Celovit nadzor in preprečevanje onesnaževanja, Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah za industrijske hladilne sisteme (Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems) december 2001.
- Celovit nadzor in preprečevanje onesnaževanja, Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah za velike sežigalnice (Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants), Julij 2006.

C. *Hrana:*

- Celovit nadzor in preprečevanje onesnaževanja, Referenčni dokument o najboljših razpoložljivih tehnikah za prehrambeno industrijo (Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries), Avgust 2006

Obstajajo še drugi priročniki o energijski učinkovitosti in poročila o najboljših praksah, ki prikazujejo možnosti prihranka pri rabi energije. Dolg seznam koristnih dokumentov je predstavljen tudi v poročilu EINSTEIN D.2.2 ˝Primeri in orodja o energetskih pregledih˝. V tem dokumentu so ukrepi podani po vrstah industrije, kot tudi po tehnologijah dobave toplote in hladu, kar omogoča pregled nad možnostjo prihrankov.

S strani IEA Task 33, Solar Heat for Industrial Processes a “Matrix of Indicators” je bilo dognano, da nam to lahko služi kot orodje, ki sistemsko vključuje procesni inženiring in infomacije o energetiki v industrijskih branžah z možnostjo uporabe solarnega sistema. Ti koraki vključujejo pregled procesov, pomembnih parametrov dobave energije, primerjalne podatke o rabi energije, **konkurenčne tehnologije**, sheme o integraciji sončne enrgije in uspešne primere iz prakse. V poglavju o konkurenčnih tehnologijah so podane eneregtsko učinkovite tehnologije za različne procesne enote.

Orodje EINSTEIN je zgrajeno na obstoječih (in delno v EINSTEIN WP2 razvitih) informacijah. Podatkovna baza je integrirana v orodje EINSTEIN, kjer lahko iščemo:

a) splošne ukrepe za prihrankih pri energiji.
b) določene ukrepe za prihranek v določenih procesnih operacijah v proizvodnem procesu.

---

11 Kot je je določeno v Article 2.11 direktive IPPC, izraz “najboljša razpoložljiva tehnika” pomeni najučinkovitejše in najnaprednejšo aktivnost pri razvoju procesnih tehnik in metod, ki nakazujejo praktično uporabnost določenih tehnik, ki preprečijo oziroma znižajo emisije in negativne vplive na okolje. Izraz ˝tehnika˝ vključuje tako tehnologijo kot način načrtovanja, vgradnjo in uporabo teh tehnologij v proizvodnji. Izraz ˝razpoložljiva˝ pomeni tisto tehniko, ki je tehnično in ekonomsko možna za vgradnjo v določen proces. Izraz ˝najboljša˝ pomeni najvišjo stopnjo ohranjanja okolja.

Baza podatkov vsebuje najboljše razpoložljive tehnologije in možnosti optimiranja procesov za različne procesne operacije v različnih vrstah industrije, ki se uporabljajo v drugih industrijah v podobnih problemih (preglednica 5).

Preglednica 5: Podatki iz EINSTEIN-ove baze splošnih ukrepov in najboljših razpoložljivih tehnologijah v prehrambeni industriji.

UNIT OPERATION	TYPICAL PROCESS	TECHNOLOGY	ENERGY EFFICIENCY MEASURE
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	General measures	Install heat exchangers to recover thermal energy from condensate in its bottle washing section and fuel oil heater condensate
01-CLEANING	0101-Cleaning of bottles and case	Methodology	Cascaded use of wash water
01-CLEANING	0103-Cleaning of production halls	General measures	Low temperature detergents in washing: Use of final rinsing water for pre-rinsing, intermediate rinsing or the preparation of cleaning solution (often used in CIP systems); turbidity detectors can optimize the reuse of water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Flash pasteurization	Reuse pasteurizing overflow water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Use store heat / solar heat for heating system for start up
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	High efficiency pumps, VS drives
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Preheat incoming containers (ambient air, solar)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Local generation of hot water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Use of hot water instead of steam (no distribution losses, no HEX losses etc.)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Insulating high temperature zones of unit
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Thinner glass / more conductive materials lower the driving temperature (temp drop across glass now: 5-15°C)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Even heating/cooling increase heat transfer and shorten process times
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Immersion, spraying from below, or other heat transfer systems may increase internal convection and allow process time to be shorter
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Aiming at very little temperature increase of containers leaving the unit (normally +20°C compared to entrance temp)
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Turnel pasteurization	Evaporatively cooled water, absorption or ejector cooling with waste heat or other strategies may be used for cooling, if necessary Reuse pasteurizing overflow water
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microwave pasteurization	Possible use in conjunction with heat recovery or at variable basis to achieve specified temperatures where variable heat sources are available or flow rates vary. Efficiency at 90% (conversion from electricity). Power from cogeneration can enhance economic/ecological performance.
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Mechanical pasteurisation	Reducing pressure drop over filters is decisive. Strategies using centrifuges
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Irridation for pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultrasonic pasteurisation	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Ultraviolet radiation for sterilization	
05-PASTEURISATION	0501-Pasteurization	Microfiltration for sterilization and clarification	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	General measures	Use of vapour condensers in wort boiling to collect hot water from condensate
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with mechanical vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Wort boiling with thermal vapour recompression	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Steineker Merlin wort boiling system	
07-COOKING	0701-Cooking and boiling	Brewing at high specific gravity	

Nadaljne informacije o predlaganih tehnologijah in ukrepih najdemo na spletni strani *Wiki Web on Energy Efficicency.* Kjer najdemo matriko o kazalnikih industrijskih procesov (razvita za IEA Task 33/IV) in informacije o konkurenčnih tehnologijah, ki jih stalno nadgrajujemo z učinkovitejšimi in najboljšimi razpoložljivimi tehnikami.

Modul z orodji za optimiranje procesov

- Baza podatkov o najboljših razpoložljivih tehnologijah in ukrepih optimiranja procesov z različnimi procesnimi enotami.
- Orodje za določanje možnosti optimiranja procesov in procesne opreme.

3.7.2 Prvo načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov in shranjevanja

Po zbiranju podatkov in analiziranju možnih prihrankov rabe energije z uporabo energijsko učinkovitih tehnologij, je naslednji korak strukturna analiza možnih prihrankov energije z rekuperacijo odpadne toplote. To je zelo pomembno, ker izvedba kateregakoli ukrepa za dvig energijske učinkovitosti pred spremembo sistema dobave toplote, poveča učinkovitost celotnega dobavnega sistema in zniža možnosti predimenzioniranja opreme.

Rekuperacija odpadne toplote, je od sedemdesetih let prejšnjega stoletja (Linhoff idr.), zelo razvita metodologija optimiranja termičnih procesov. Možnosti rekuperacije odpadne toplote s sistemom energijskih tokov lahko prikažemo z analizo uščipa (natančneje opisana v poglavju 2.5). ˝Entalpijo tokov˝ lahko določimo s pridobljenimi podatki o procesih, procesni opremi in o energijski bilanci. Rezultati nam dajo vpogled v količino potrebne energije in o razpoložljivi energiji iz posameznih procesov.

Primer energijskih tokov pranja steklenic s pomivalnim strojem s sledečimi parametri:

- Prostornina posod v pomivalnem stroju: skupaj 5 m^3.
- Temperatura hladne vode T_{hv} = 10°C.
- Temperatura vode v pomivalnem stroju, T_1 = 60 °C.
- Vtok hladne vode med kontinuiranem procesom, q_{hv} = 10 m^3/d .
- Toplotna moč med obratovanjem (segrevanje vode in toplotne zgube, uparjanje ne upoštevamo), Φ = 90 kW.
- Režim obratovanja: Zagon od 6:00 do 6:30, kontinurani proces od 6:30 do 16:00.
- Temperatura odpadne vode T_{ov} = 50 °C.
- Temperatura ohlajene odpadne vode T_2 = 5 °C.

Naslednje entalpijske tokove lahko določimo na osnovi teh parametrov (preglednica 6).

Preglednica 6: Entalpijski tokovi za primer pranja steklenic.

Ime	Začetna temperatura	Končna temperatura	Masni tok	Zahtevana moč / odpadna toplota	Obratovalni režim
	T (°C)	T (°C)	q (kg/h)	Φ (kW)	t
Zagon.	10	60	10 000	582	6:00–6:30
Segrevanje kontinuiranega vtoka vode.	10	60	1 053	61	6:30–16:00
Dodatno segrevanje zaradi toplotnih izgub.	60	60	-	29	6:30–16:00
Odpadna voda.	50	5	1 053	55	6:30–16:00
Ohlajena odpadna voda.	50	5	10 000	524	16:00–16:30

Tokove lahko določimo za vsak proces in opremo. Osredotočiti se moramo na tokove, ki so toplotno pomembni. Podatki iz preglednice 6 zadostujejo, da lahko dobimo toplo in hladno sestavljeno krivuljo, določimo največji potencial rekuperacije odpadne toplote s toplotnimi prenosniki pri danem ΔT_{min} (glej poglavje 2.5).

Slika 23: Topla in hladna sestavljena krivulja za mlekarno.

Velika sestavljena krivulja prikazuje rekuperacijo odpadne toplote v nekoliko drugačni obliki, vendar je prav tako narejena iz podatkov iz preglednice 6 (glej tudi poglavje 2.5). Narisana je razlika med toplo in hladno sestavljeno krivuljo in prikazana je zunanja potreba po toploti in hladu pri različnih temperaturnih nivojih..

Slika 24: Velika sestavljena krivulja za pralnik steklenic.

Določiti moramo tehnično in ekonomsko izvedljivost omrežja toplotnih prenosnikov. Pri tem moramo upoštevati:

- Za segrevanje drugih tokov uporabljamo toploto podobne temperature (izogibajmo se hlajenju visokotemperaturnih tokov in segrevanje nizkotemperaturnih tokov).
- Moč toplotne izmenjave.
- Celotna prenosljiva količina energije pri toplotnih prenosnikih
  - Urnik obratovanja procesa – kdaj so določeni tokovi lahko uporabljeni za neposredni prenos toplote.
  - Skladiščenje – ali je potrebno pri določeni temperaturi skladiščiti toploto med dvema tokovoma, kako visoke so izgube skladiščenja in skupaj koliko energije potrebujemo za prenos.
- Prioriteta naj nam bo integracija toplote v istem procesu – pomeni neposredno rabo odpadne toplote.
- Raba toplote za gretje procesa, ki bi jo drugače morali hladiti s hladilnim strojem, poviša energijske prihranke pri energiji s prenosom toplote, ker bi morali uporabiti zunanji vir toplote.
- Razlika med toplotnim virom vročim tokom) in toplotnim ponorom (hladni tok).
- Realni problemi kot npr. zamašitve, potrebe po posredni toplotni menjavi čez prenosni medij, temperature, tlaki ipd.
- Stroški naložbe in prihranki energije.

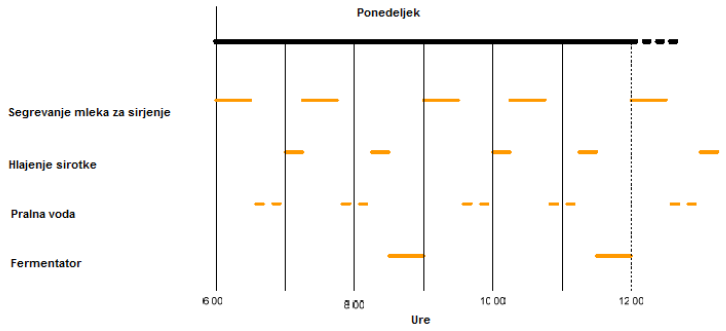
Navadno izračune lahko ročno opravimo, vendar je potrebno veliko časa za izračun kompleksnejših sistemov. Razvili so algoritme za samodejno načrtovanje za omrežja toplotnih prenosnikov, vendar niso upoštevani obratovalni režimi, težko so integrirali skladiščenje. Običajno ne dajejo prednosti rekuperaciji notranje odpadne toplote in ciljanju najvišjih prihrankov pri energiji celotnega omrežja.

V EINSTEIN-u smo uporabili metodo, razvito pri JOANNEUM RESEARCH, ki upošteva večino zgoraj naštetih kriterijev. Metoda je bila razvita za določanje osnov integriranja sistemov dobave obnovljivih virov energije.

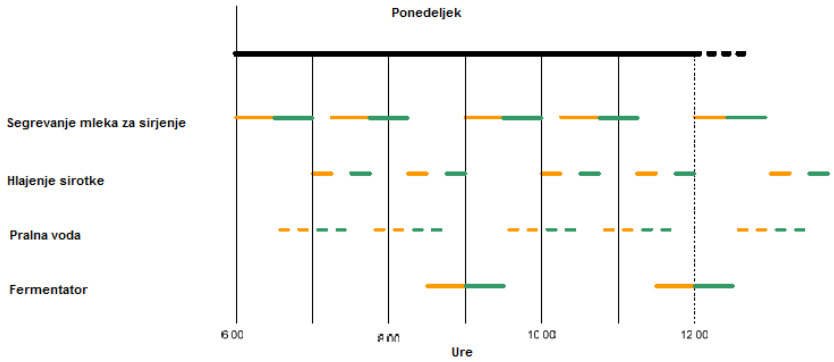
Koncepti skladiščenja

Pri razvoju omrežja toplotnih prenosnikov v prehrambeni in kovinsko predelovalni industriji je pozornost namenjena šaržnim procesom in konceptih skladiščenja. Najprej je potrebno določiti obratovalni režim za različne procese za tipičen teden. Kar pomeni, da moramo poleg začetkov in končni izmeni, podati tudi število šarž, čas trajanja ene šarže ipd., da lahko določimo dejanski obratovalni režim. Slika 25 prikazuje primer fermentatorja sira.

V fermentatorju sira najprej predgrejemo vroče mleko, nato dodamo predgreto pralno vodo. Sledi zbiranje sirotke in hlajenje. Za to občutljivo procesno operacijo predvidevamo čiščenje fermentatorja na vsaki drugi šarži. V primeru istočasnega delovanja dveh linij fermentatorja je režim bolj kontinuiran, ker lahko paralelni linij časovno usklajeno obratujeta. Očitno je, da pravilna organizacija in načrtovanje proizvodnje lahko potrebo po toploti ne samo zniža ampak tudi poveča kontinuiranost tokov.



Slika 25: Obratovalni režim fermentacije sira.

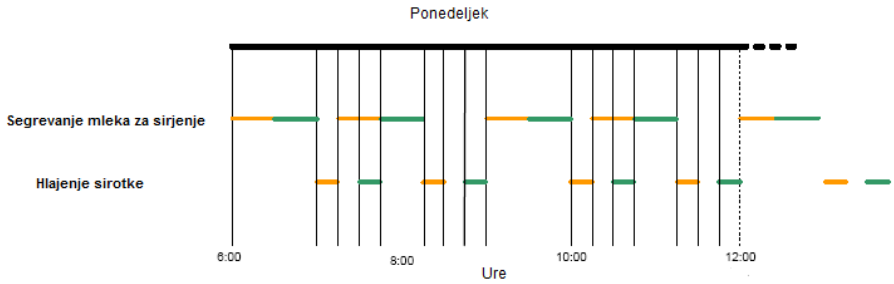


Slika 26: Režim dela delujočih fermentatorjev.

Obstaja tudi veliko primerov, ko ne moremo doseči popolnega kontinuiranega procesa. V našem primeru lahko vidimo, da še vedno obstajajo prekinitve v proizvodnji. V primeru, da želimo prenos toplote med mlekom za gretje in sirotko za ohlajanje, moramo toploto skladiščiti, da zadostimo potrebam prenosa toplote.

Sedaj lahko uporabimo model časovne razdelitve (slika 27). Časovni deli so določeni z začetnim in končnim časom dela procesa. Poznamo štiri vrste časovne razdelitve:

1. Razpoložljiv je le en vir toplote.
2. Samo en toplotni ponor potrebuje energijo.
3. Simultano obratovanje toplotnega vira in ponora.
4. Ni pretokov.



Slika 27: Model časovne razdelitve pri fermentiranju sira (gretje mleka, hlajenje sirotke).

Obstajajo določene metodologije, ki vključujejo časovno porazdelitev za celotno omrežje tokov in lahko preračunajo omrežje toplotnih prenosnikov za vsak časovni del. Tukaj predstavljamo drugačno metodologijo, ki najprej izbere dva tokova za prenos toplote glede na že omenjene pogoje, izračuna njuno kapaciteto shranjevanja v modelu časovne porazdelitve in končno izračuna razpoložljivo energijo za prenos med izbranima dvema tokovoma. Izračunamo več možnih kombinacij in na koncu izberemo najboljšo (najvišji prihranek pri energiji z enim toplotnim prenosnikom).

V vsakem časovnem delu lahko izračunamo razliko med potrebno in razpoložljivo energijo. Ti presežki ali potrebe po energiji dajejo osnovo za načrtovanje hranilnika. Načrt napravimo s simulacijo glede na kumulacijo, primerno velikost hranilnika, trenutno prostornino hranilnika in pričakovane izgube v vsakem časovnem obdobju.

Vedeti moramo, da je prvo prednačrtovanje hranilnikov izvedeno z energijsko simulacijo za standardni hranilnik in prikazuje predlagano kapaciteto skladiščenja za vsak toplotni prenosnik. Na tej osnovi se lahko, kot strokovnjaki odločimo za dejansko število hranilnikov in temperaturne nivoje.

Predlagani toplotni hranilniki in načrtovanje

S ciljem na največji možni prenos energije so v tej stopnji predpostavljeni protitočni toplotni prenosniki.

Za prvo oceno stroškov naložbe v toplotne prenosnike moramo določiti ploščino toplotnega prenosnika. Kot smo že omenili (glej poglavje 2.5) obstajajo med prihranke energije in stroški naložbe kompromisne rešitve, glede na izbrani ΔT_{min}. Obstajajo tudi standardne vrednosti ΔT_{min}, ki jih izbiremo glede na temperaturo in fizikalne lastnosti masnega toka (tekoče stanje, plinasto stanje, kondenziranje).

Nadalje moramo za izračun potrebne ploščine toplotnega prenosnika določiti tudi koeficient toplotnega prenosa. Za prvo oceno, lahko podamo povprečne vrednosti glede na fizikalno stanje pretoka. V kasnejših korakih moramo opraviti ponovni izračun s podatki o dejanskem stanju pretokov.

V preglednici 6 so povzeti standardne vrednosti, ki jih uporabljamo v EINSTEIN-u.

Preglednica 6: Standarde vrednosti za ΔT_{min} in koeficient toplotnega prenosa α.

Fizikalno stanje	ΔTmin [°C]	Koeficient toplotnega prenosa α [W/m²K]
Tekoče stanje	5	5 000
Plinasto stanje	10	100
Kondenziranje	2,5	10 000

V praksi, so koeficienti toplotnega prenosa k (= $1/\alpha_1 + s/\lambda + 1/\alpha_2$) odvisni od vrste toplotnega prenosnika, turbolentnega pretoka in od uporabljenega materiala. Povprečni koeficient toplotnega prenosa je za vsak pretok podan v preglednici 6, ki so dobre ocene za vse koeficiente toplotnega prenosa v različnih toplotnih prenosnikih. Za standardne vrednosti lahko vzamemo toplotni prenosnik iz nerjavnega jekla.

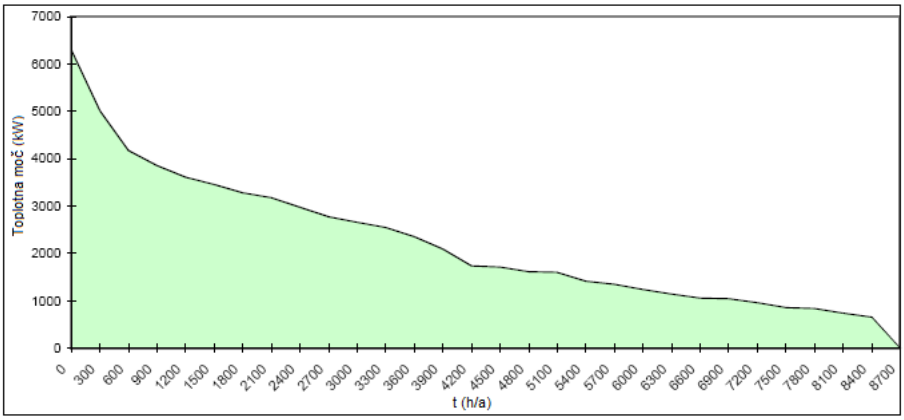
Preglednica 7: Vrste toplotnih prenosnikov in koeficienti toplotnega prenosa.

Prenos toplote	Izbrane vrste toplotnih prenosnikov v EINSTEIN-u	Koeficient toplotnega prenosa (iz nerjavnega jekla) α [W/m²K]	Povprečne vrednosti iz VDI Heat Compendia [W/m²K]
Tekočina – tekočina	Ploščni	2 143	1 000–4 000
Plin – tekočina	Cevni	97	15–70
Kondenziranje – tekočina	Cevni	2 724	500–4 000
Plin – plin	Cevni	50	5–35
Kondenziranje – plin	Cevni	99	20–60

Za prvo oceno sta upoštevana le ploščni in cevni toplotni prenosnik. Ko ocenimo toplotni prenos, je za prvo oceno stroškov zelo pomembna tudi izbira tip toplotnega prenosnika. Za izračun stroškov lahko uporabimo metode iz literature ali podatke dobimo od proizvajalca.

Potreba po toploti in krivulje razpoložljivosti

Po načrtovanju toplotnih prenosnikov in po določitvi prihrankov z rekuperacijo odpadne toplote, lahko kot osnovo za nadaljno načrtovanje sistemov dobave energije narišemo preostalo potrebo po toploti in krivulje razpoložljivosti. Krivulje letne obremenitve so dobra osnova za načrtovanje nove opreme dobave toplote, ker prikazujejo količino in časovne potrebe po toploti. S tem lahko načrtujemo idealno velikost opreme in njeno celotno obremenjenost (slika 28).



Slika 28: Krivulja letne obremenjenosti.

Krivulje letne obremenjenosti lahko narišemo po analizi uščipa, ko že imamo podatke o energijskih tokovih in njihovih obratovalnih režimih. Narišemo lahko tudi krivulje obremenjenosti po različnih temperaturnih nivojih. Na ta način lahko načrtujemo primerno opremo dobave toplote glede na potrebo po toploti pri različnih temperaturah (glej podpoglavje 3.7.4)

Ponovno načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov zaradi sprememb v sistemih dobave energije

Kadar spreminjamo energijski dobavni sistem, je v nekaterih primerih pomembno narediti ponovni načrt omrežja toplotnih prenosnikov. Npr. če v toplotnem prenosniku uporabimo dimne pline obstoječega kotla, ki je kasneje zamenjan s kombiniranim sistemom na biomaso in sončno elektrarno. V vsakem primeru moramo po predlaganih spremembah v energijski dobavni sistem, pregledati tudi omrežje toplotnih prenosnikov. V EINSTEIN-u lahko ponovimo izračune omrežja toplotnih prenosnikov glede na prihodnje energijske bilance z novo opremo.

Dodatna literatura:

Na voljo je večje število priročnikov za načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov. Nekaj je naštetih v spodnjem seznamu:

[1] Schnitzer H., Ferner H. (1990), Optimierte Wärmeintegration in Industriebetrieben
[2] Kemp, I.C. (2006). Pinch Analysis and Process Integration
[3] Verein Deutscher Ingenieure (2006). VDI Wärmeatlas
[4] Brienza; Gandy; Lackenbach (Editors) (1983). Heat Exchanger Design Handbook
[5] Richard Turton, Richard C. Bailie, Wallace B. Whiting, Joseph A. Shaeiwitz (1998). Analysis synthesis and design of chemical processes.

3.7.3 Načrtovanje alternativnih sistemov dobave (vključno s spremembami vrste goriva in spremembami distribucijskega sistema)

Namen

Ko smo pregledali in ocenili možnosti rekuperacije odpadne toplote in sprememb procesnih temperatur (kar običajno zahteva manj sredstev kot spremembe v sistemu dobave toplote in omogoča velike prihranke energije), je naslednja faza metodologije EINSTEIN-a načrtovanje alternativnih sistemov dobave z nadaljnim zniževanjem rabe energije.

Predlog alternativne dobave zajema seznam opreme za dobavo toplote in distribucijski sistem, ki lahko nadomestita obstoječega, in omogoča prihranke energije in ekonomske ter okoljske koristi. Predhodno načrtovanje takšnih alternativnih sistemov zajema izbiro primerne opreme in oceno njene energijske učinkovitosti z upoštevanjem potreb po toploti in razpoložljivosti procesov ter njihove trenutne distribucije toplote.

Začetna točka načrtovanja sistema dobave toplote in hladu je zato analiza (razčlenitev) celotnih potreb po toploti po optimiranju procesa, po rekuperaciji odpadne toplote in po načrtovanju hranilnika toplote. Pri tem upoštevamo:

- Temperaturni nivo preostalih potreb po toploti (po rekuperaciji odpadne toplote).
- Količino potrebne toplote in razpoložljivost odpadne toplote.
- Trenutno distribucijo toplote in razpoložljivost odpadne toplote.
- Razpoložljivi prostor.
- Razpoložljive alternativne vire energije in njihove stroške (biomasa ipd.).

Metodološki pristop

Optimiranje celotnega sistema dobave toplote in hladu je zasnovano na predpostavki kaskadni dobavi toplote za celotne potrebe po toploti in hladu:

- Najučinkovitejša oprema dobavlja toploto pri osnovni obremenjenosti (pri velikem številu obratovalnih ur) in pri relativno nizkih temperaturnih nivojih.
- Preostale potrebe pri visokih temperaturah so pokrite z manj učinkovito opremo, primerno za ta namen.

Ni rečeno, da nas takšen pristop vodi do optimuma in tudi ne upošteva posebnosti določenega sistema distribucije toplote, ampak podaja prve ocene, ki jih lahko v nadaljevanju ročno optimiramo in prilagodimo, seveda odvisno od naših izkušenj.

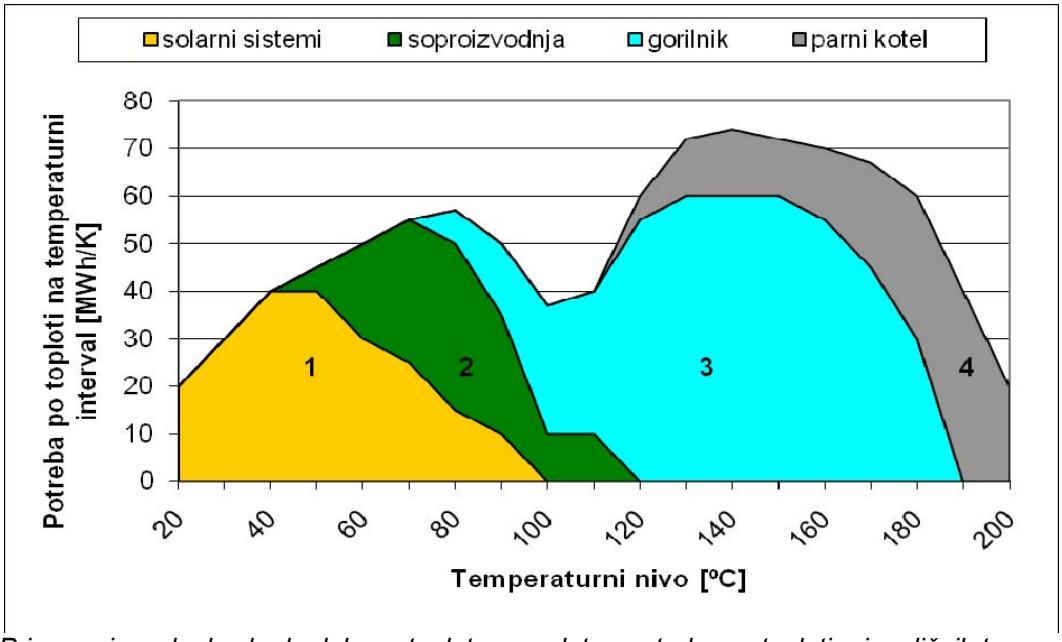
Načrtovanje procesa celotnega sistema dobave energije izvršimo po sledečih korakih:

- Izberemo vrsto opreme, ki jo bomo uporabili v kaskadi dobave toplote. Ta korak izvedemo ročno, čeprav nam EINSTEIN računalniški program lahko poda nekaj predlogov za izbiro primerne opreme.

- Vsako vrsto opreme v kaskadi posamezno dimenzioniramo. Pri tem si lahko v EINSTEIN računalniškem orodju pomagamo s ¨pomočnikom načrtovanja¨. Če želimo, lahko načrt nato še ročno prilagodimo.

- Optimalno kombinacijo izbiramo kot ˝celoto¨. Ta korak napravimo s strategijo ¨poizkus in napaka¨: različne alternativne kombinacije tehnologij lahko načrtujemo zaporedno in jih med seboj primerjamo glede na njihovo energijsko, ekonomsko in okoljsko učinkovitost.

- V mnogo primerih rekuperacijo odpadne toplote – dobavo toplote in hladu iterativno optimiramo (nekajkrat ponovimo enak postopek), ker lahko spremembe sistema dobave pripeljejo do sprememb v odpadni toploti, kar lahko vpliva na njen razpoložljiv potencial.



Slika 29: Primer prispevka kaskade dobave toplote na celotno potrebo po toploti pri različnih temperaturnih nivojih z različnimi vrstami opreme.

3.7.3.1 Skladiščenje toplote in hladu

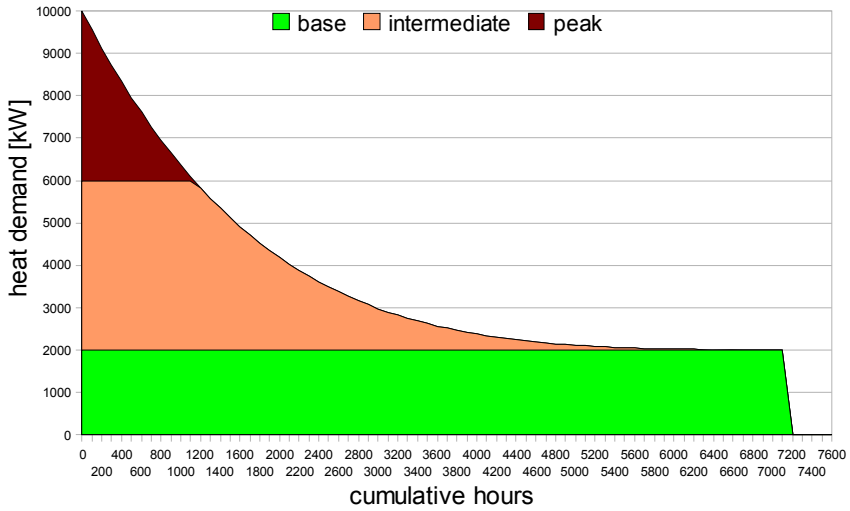
Večina energetsko učinkovitih tehnologiji za dobavo toplote in hladu (kot so soproizvodnja, toplotne črpalke, obnovljivi viri energije, ki jih bomo podrobneje spoznali v naslednjih poglavjih) se od standardnih (današnjih) tehnologij razlikujejo po:

- *Nižji rabi energije in nižjih obratovalnih stroških.*

- *Običajno višjih začetnih naložbenih stroških.*

Medtem ko so začetni naložbeni stroški fiksni (odvisni so le od vrste opreme), se prihranki pri energiji višajo z letnimi obratovalnimi urami opreme. Kar pomeni, da ekonomska upravičenost teh tehnologij močno zavisi od kontinuiranosti obratovanja (številom obratovalnih ur).

Zato naj bi to opremo uporabili za normalne obremenitve, medtem ko bi za pokritje konic uporabili cenejšo, vendar energijsko manj učinkovito opremo.



Slika 30. Dimenzioniranje opreme za normalno obremenitev in vmesni čas obremenitev ter konice.

V mnogih primerih lahko hranilnike toplote in hladu uporabimo za nižanje konic in povišanje normalne obremenitve. S tem podaljšamo delovanje energijsko učinkovitejše opreme.

Optimiranje sistema skladiščenja toplote in hladu ne obravnavamo samostojno, ampak kot del njune celotne energijske učinkovitosti dobave.

Najpomembnejši sistemi skladiščenja toplote in hladu so:

- Shranjevanje občutene toplote in hladu v topli/hladni vodi (v tlačni posodi, pri temperaturah nad 150 °C).
- Shranjevanje latentne toplote in hladu v hranilnikih nasičene pare.
- Hranilnik termo olja.
- Hranilnik trdnih snovi (keramike, kamnenja ipd.).
- Hladilnik in hranilnik latentnega hladu v drugih materialih.

3.7.3.2 Energijsko učinkovita distribucija toplote in hladu

V mnogih primerih lahko s spremembo distribucije toplote in hladu nižamo rabo energije. Analizirali bi lahko sledeče možnosti:

- *Znižanje temperaturnega nivoja* v distribucijskem sistemu lahko pomaga pri znižanju izgub cevja in hranilnikov in povečanju učinkovitost pretvorbe v opremi (kotlih ipd.). Znižanje temperaturnega nivoja je lahko tudi eden izmed pogojev, pri vgradnji energijsko učinkovite tehnologije (npr. CHP motorjev, toplotnih črpalk, sončne energije).
- *Neposredno zgorevanje:* v nekaterih primerih (npr. sušenju, segrevanju vode) lahko neposredna uporaba dimnih plinov (npr. iz plinske turbine), z odstranitvijo distribucijskih izgub in z uporabo kondenzacijke toplote dimnih plinov, zviša učinkovitost sistema. Neposredno zgorevanje/neposredna raba dimnih plinov je mogoča le pri zgorevanju t.i. čistih goriv (npr. zemeljskega ali bioplina).

3.7.3.3 Soproizvodnja električne energije in toplote (CHP - Combined Heat and Power)

Soproizvodnja je trenutno energijsko najučinkovitejša metoda proizvodnje električne energije (poleg proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov), ker je pretvorba goriva v energijo optimirana s proizvodnjo toplote in električne energije namesto proizvodnje samo toplote oziroma samo električne energije. Glede na termodinamske pogoje je le soproizvodnja najučinkovitejša pretvorba goriva v energijo (ne glede na to ali je gorivo biomasa ali katerokoli drugo tekoče gorivo). Najučinkovitejši sistemi soproizvodnje lahko proizvedejo toploto in električno energijo z najnižjimi izgubami (običajne so od 10 % do 25 %). Tipičen sistem proizvodnje električne energije ima vsaj 45 % izgube.

V želji doseganja najvišjih prihrankov energije moramo soproizvodnjo načrtovati tako, da imamo dobavo toplote blizu proizvodnjega procesa. Tako sistem soproizvodnje optimiramo. Presežek električne energije lahko prodamo v javno distribucijsko omrežje električne energije po veljavnem tarifnem sistemu (pri tem moramo poznati veljavno zakonodajo, ki pogosto zahteva določen delež lastne porabe električne energije). Soproizvodnja električne energije z izpustom odpadne toplote v okolje iz vidika energijske učinkovitosti ni sprejemljiva, razen če je učinkovitost električne energije višja od povprečne učinkovitosti pretvorbe proizvajalcev električne energije.

Poznamo veliko načinov izračuna prihrankov primarne energije, ki jih dobimo s soproizvodnjo: možna je primerjava med prihranki v soproizvodnji in prihranki, ki jih lahko dosežemo pri samostojni proizvodnji električne energije oziroma toplote pri istem gorivu ali na povprečne vrednosti iz omrežja električne energije. Ker pri soproizvodnji pridobivamo tako toploto kot električno energijo lahko prihranke izračunamo samo glede na količino proizvedene toplote, ali na količino proizvedene električne energije oziroma obeh skupaj. Trenutno sta v Evropi običajna dva pristopa:

- Direktiva 2004/8/EC primerja sisteme soproizvodnje z ločeno proizvodnjo toplote in električne energije (glede na referenčne učinkovitosti za ločeno proizvodnjo). Ta pristop je ˝simetričen˝ v toplotni in električni energiji.

- Pristop ¨ekvivalentna učinkovitost električne energije¨, ki ga uporabljajo v Španiji in na Portugalskem, od celotne količine goriva odšteje potrebno količino energije za proizvodnjo toplote v tradicionalnem sistemu in nato izračuna teoretično energijsko učinkovitost (ki je lahko zelo visoka, običajno nad 60 %).

V EINSTEIN-u smo osredotočeni na dobavo toplotne energije. Energijski optimum obrata za soproizvodnjo naj bi bil odvisen od lastne potrebe po toplotni energiji. Zanima nas specifična raba neto primarne energije na enoto proizvedene toplote v soproizvodnji (enačba 3.2).

$$\frac{\Delta E_{\mathrm{PE}}}{\Delta \Phi} = \frac{f_{\mathrm{PE}}}{\eta_{\mathrm{th}}^{\mathrm{CHP}}} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\mathrm{el}}^{\mathrm{CHP}}}{\eta_{\mathrm{el}}^{\mathrm{grid}}} \right) \qquad (3.2)$$

Specifična raba neto primarne energije je lahko tudi negativna (!), če je učinkovitost proizvodnje električne energije v obratu za soproizvodnjo višja kot povprečna učinkovitost električne energije iz elektrarn.

Na povprečni časovni skali se stanje vseeno spreminja, ker se izboljšuje učinkovitost omrežja električne energije (zvišuje se učinkovitost elektrarn in zvišuje se delež proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov). V primerjavi s vedno bolj učinkovitim omrežjem električne energije se relativni prihranki v soproizvodnji vedno nižajo.

Ker se zvišuje energijska učinkovitost opreme, je za ekonomsko upravičenost sistemov soproizvodnje potrebno večje število obratovalnih ur (običajno več kot 4000 h/a). Zaradi tega moramo sistem soproizvodnje načrtovati za standardno obremenitev in v kombinaciji s hranilnikom toplote in hladu.

Poleg potreb po toploti, lahko s soproizvodnjo pokrijemo tudi potrebe po hladu (t.i. trigeneracija: električne energija + toplota + hlad) v kombinaciji s hladilniki (absorpcijski ali adsorpcijski), ki pretvorijo toploto v hlad. Vtok toplote v hladilnik mora biti med 80 °C in 180 °C, temperaturni nivo zavisi od uporabljene tehnologije.

Izbira primerne tehnologija za soproizvodnjo je odvisna od velikosti, kontinuiranosti in temperaturnega nivoja potrebne toplote (preglednica 8).

Preglednica 8. Razpoložljive tehnologija za soproizvodnjo.

Tehnologija	Temperaturni nivoji	Učinkovitost (električna energija/toplota)
Plinski ali oljni motor	< 95 ºC (hladilna voda) < 400 ºC (dimni plin)	(40 % / 45 %)
Plinska turbina	< 400 ºC	(30 % / 60 %)
Parna turbina	< 250 ºC (omejenost; odvisna od protitlaka)	(20–30 % / 65 %)
Sestavljen sistem (plinska turbina + parni generator odpadne toplote + parna turbina)	< 250 ºC (omejenost; odvisna od protitlaka v parni turbini)	(50–55 % / 35–40%)
ORC sistem (Rankinov sistem z organsko snovjo)	< 250 ºC	(27–50% / 30–55 %)
Stirlingov motor	<90 °C	(10–25 % / 60–80 %)
Gorivne celice	<80 °C (PEM tehnologija) <400 °C (SOFC tehnologija)	(45–60 % / 30–50 %)

Dodatna literatura

[1] OPET: Combined heat and power and district heating project. www.opet-chp.net.
[2] COGEN*challenge:* The European information campaign on small-scale cogeneration. www.cogen-challenge.org.
[3] COM 2004/8/EC: Directive on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market. www.managenergy.net/products/R81.htm.
[4] UK Department for Environment, Food and Rural Affairs: Action in the UK - Combined heat and power. www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/energy/chp/index.htm.
[5] American Council for an Energy Efficient Economy: CHP – Capturing wasted Energy. www.aceee.org/pubs/ie983.htm

3.7.3.4 Toplotne črpalke

Toplotne črpalke uporabljamo za zviševanje temperature virov odpadne toplote (ali toplote iz okolja: iz okoliškega zraka ali iz zemlje) na takšen nivo, da lahko pridobljeno toploto uporabljamo v sistemu dobave toplote.

Poznamo različne vrste toplotnih črpalk, ki se med seboj razlikujejo tako po velikosti kot tudi po načinu delovanja. Najpomembnejše vrste toplotnih črpalk v industrijiskih procesih so:

- *Toplotne črpalke z mehanskim kompresorjem*, ki za pogon običajno potrebujejo električno energijo.
- *Absorpcijske toplotne črpalke*, ki za pogon rabijo vročo vodo ali paro.
- *Parne jet toplotne črpalke.*

Toplotne črpalke uporabljamo za gretje in hlajenje tehnološke vode, sušenje, gretju prostorov, uparjanje in destilacijo in za rekuperacijo odpadne toplote.

Pri uporabi toplotnih črpalk je dobro vedeti sledeče:

- *Temperatura dobavne toplote*. Je odvisna od vrste toplotne črpalke in delovnega fluida. Običajno je temperatura med 55 °C in 120 °C. Nekatere vrste kompresorjev rabijo vodo kot hladivo in je lahko temperatura med 80 °C in 150 °C. V pilotnih napravah so desegli temperaturo tudi do 300 °C.

- *Dvig temperature*. Grelno število COP toplotne črpalke je močno odvisno od dviga temperature. Temperaturna razlika med virom toplote in dobavno toploto je pri višjih COP številih dosežena z nižjim temperaturnim dvigom. Običajni dvigi temperature so med 20 K in 40 K.

- *Obratovalne ure*. Tudi s toplotnimi črpalkami lahko znižamo energijske in obratovalne stroške. Vendar je njihova uporabnost najprimernejša, če imamo kontinuirno potrebo po toploti in zajamčene višje izkoristke.

- *Temperatura uščipa*. Temperatura uščipa (glej poglavje 2.5) razdeli celotno potrebo po toploti na dva dela: nad uščipom potrebujemo zunanji toplotni vir, pod uščipom imamo presežek odpadne toplote. Primerno mesto za namestitev toplotne črpalke je ˝čez uščip¨, kar pomeni: presežno toploto pod uščipom uporabimo pri višjih temperaturah nad uščipom.

- *Krivulja potrebe in dobave toplote*. Toplotno črpalko lahko uporabimo, če je po rekuperaciji odpadne toplote še vedno nekaj potreb po toploti in še imamo razpoložljivo odpadno toploto ali če ni potreben znaten dvig temperature.

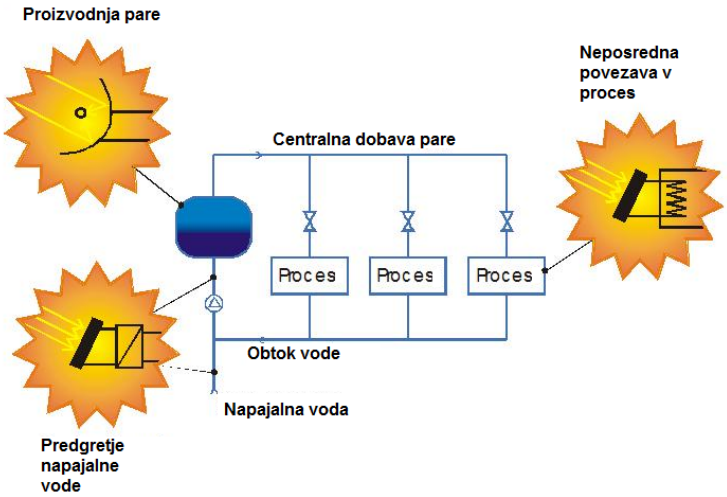
Dodatna literatura

[1] Informacije o tehnologijah toplotnih črpalk in dobaviteljev lahko dobite na spletni strani IEA Heat Pump Centre: www.heatpumpcentre.org.

3.7.3.5 Sončna energija

Povezovanje solarnega sistema s proizvodnimi procesi

Obstoječi sistemi ogrevanja na paro ali vročo vodo iz kotlov so običajno dimenzionirani na višje temperature (150–180 °C), glede na temperaturo, ki jo potrebujemo v procesu (T = 100°C ali celo nižja). Solarni sistem vgrajujemo v obstoječi sistem dobave toplote pri najnižji možni temperaturi. Toploto pridobljeno iz sonca dobavljamo le po predgretju z odpadno toploto, ker namreč kombinacija obeh sistemov daje večji izkoristek, kot če bi uporabljali solarni sistem pri nizkih temperaturah brez rekuperacije odpadne toplote. Sončno energijo lahko na več načinov integriramo v konvencionalni sistem dobave toplote, vključno z povezovanjem na določen proces, gretjem vode in proizvodnjo pare v centralnem sistemu (slika 31).



Slika 31. Povezovanje solarnega sistema s konvencionalno dobavo toplote [1].

Če je le mogoče povezujemo solarni sistem z enim ali nekaj procesi, kjer so delovne temperature nižje. Neposredna povezava je v glavnem mogoča le na dva načina:

- *Predgrevanje krožnega fluida* (npr. napajalna voda, obtok zaprtega sistema, gretje zraka ipd.). Povprečna delovna temperatura solarnega sistema je nižja od zahtevane končne procesne temperature. Če je kroženje diskontinuirano, je potrebno vključiti tudi hranilnik toplote.

- *Ogrevanje kadi, posod in/ali vročih komor (npr. sušilnikih)*. Zahtevana je toplotna energija za gretje fluida na začetno delovno temperaturo in za vzdrževanje konstantne procesne temperature. Obstoječi toplotni prenosniki so običajno načrtovani za delovanje pri previsokih temperaturah za solarni sistem. V primeru, da spremembe opreme niso možne, zaradi tehničnih omejitev, lahko uporabimo zunanji toplotni prenosnik, ki je povezan z obtočno črpalko. V primeru dobro izolirane procesne kadi, jo lahko uporabimo za skladiščenje toplote. Na primer, vzdrževanje temperature solarnega sistema med nedelovanjem procesa (med vikendom) lahko zniža potrebo po toploti pred zagonom procesa.

Najprimernejši procesi za učinkovito integriranje solarnega sistema so čiščenje, sušenje, uparjanje, destilacija, blanširanje, pasteriziranje, sterileziranje, kuhanje, barvanje in hlajenje. Poleg proizvodnih procesov je sončna energija primerna tudi za gretje in hlajenje proizvodnih in pisarniških prostorov.

Povezovanja solarnega sistema s kotlom je možna skoraj v vseh industrijah, s predgretjem napajalne vode v parni kotel ali s solarnim generatorjem pare. V prvem primeru lahko sončno toploto uporabimo za gretje sveže napajalne vode pri nizki temperaturi (če ni mogoča rekuperacija odpadne toplote) ali za zvišanje temperature kondenzata. Proizvodnja pare je možna ob intenzivnem sončnem obsevanju in z naprednimi kolektorji.

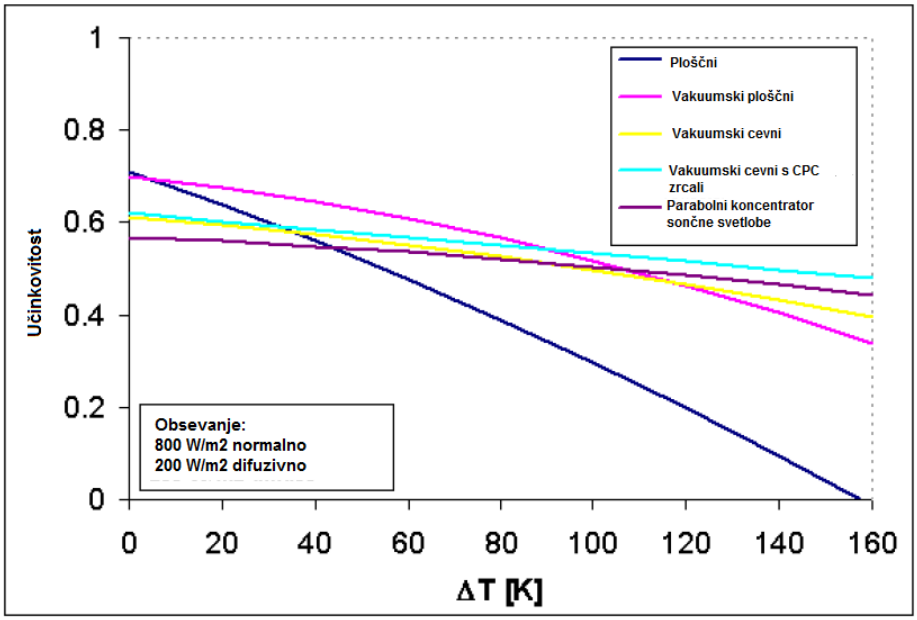
Sončni kolektorji za procesno toploto

Učinkovitost (η) sončnega kolektorja je prikazana v enačbi 3.3.

$$\eta = c_0 - (c_1 + c_2 \Delta T) \cdot \frac{\Delta T}{G_T} \qquad (3.3)$$

c_0 je optična učinkovitost, c_1, c_2 linearni in kvadratni koeficient toplotnih izgub (c_1 [W/(K m^2)]; c_2 [W/(K^2 m^2)]), ΔT [K] je razlika med povprečno temperaturo sončne toplote in temperaturo območja in G_T [W/m^2] je količina verjetnega obsevanja sončnega kolektorja.

Glede na zgornjo enačbo lahko sklepamo, da je izkoristek močno odvisen od lege (osvetlitve) in od delovne temperature, zaradi toplotnih izgub v kolektorju in cevju (slika 32).

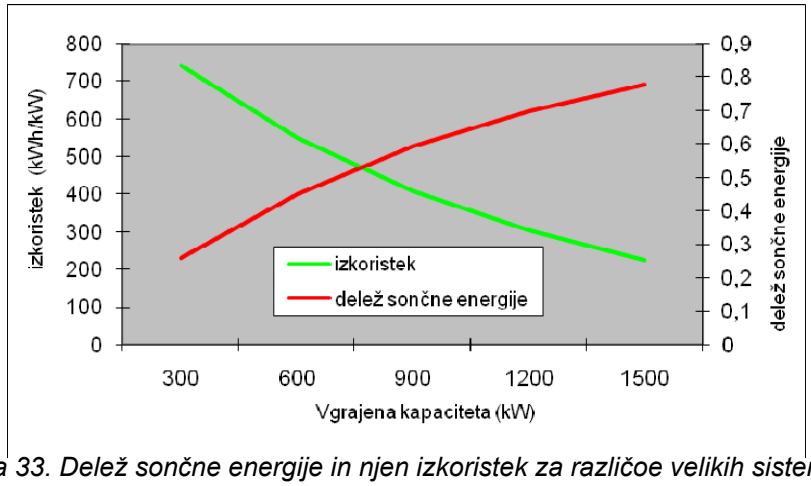


Slika 32. Učinkovitost v odbisnosti od vrste sončnega kolektorja (bruto površine kolektorja) [1].

Ob sedanjem stanju tehnik so za nizke temperature v procesu (do 80 °C) najprimernejši ploščni kolektorji (z ali brez absorberja). Ostale vrste kolektorjev, ki jih v glavnem uporabljamo pri temperaturah do 250 °C, so: visoko učinkoviti ploščni (npr. z dvojnim antirefleksnim slojem); vakuumski cevni, z nizko koncentracijo CPC, majhno stekleno cevjo in linerani kolektorji. Poleg omenjenih so v razvojni fazi npr. kolektor s stacionarnim reflektorjem.

Dimenzioniranje solarnega sistema

Dimenzioniranje solarnega sistema večje zmogljivosti za zanano potrebo po toploti poveča delež uporabljene sončne energije, torej prispvke k celotnim potrebam. Priporočena povprečna letna proizvodnja sončne energije naj ne bi bila višja od 60 %. Specifični izkoristek energije (izkoristek energije glede na nameščeno toplotno moč kW[12] „ ali na enoto površine) solarnega sistema se znižuje s povečanjem vgrajenega sistema. Specifični izkoristek energije se v glavnem znižuje zaradi povišane delovne temperature kolektorjev, kar vodi do večjih toplotnih izgub in pogostejših izpadov (slika 33).



Slika 33. Delež sončne energije in njen izkoristek za različoe velikih sistemov.

Obremenjenost in hranilnik sončne toplote

Kadar imamo kontinuirano potrebo po toploti (čez dan in čez teden, npr. brez prostih vikendov), solarni sistem ne potrebuje hranilnika toplote in je toplota lahko dobavljena neposredno končnemu porabniku (procesu ali sistemu dobave toplote). Enostavnejši je načrt sistema, višji so dobitki energije in nižji so stroški naložbe.
Vendar proizvodni procesi ne delujejo vedno pri isti obremenjenosti oz. V Sloveniji so najpogostejši šaržni procesi.

V primeru, kadar imamo kontinuirani proces in močno nihanje dnevnih potreb, potrebujemo hranilnik toplote. Priporočljiva prostornina hranilnika je 20–80 L/m^2 kolektorja. V primeru večjih prekinitev (npr. med vikendom) je priporočljiva prostornina hranilnika 80–150 L/m^2 kolektorja. Skladiščenje toplote za daljša obdobja (sezonsko skladiščenje) je učinkovito le za zelo velike sisteme (> 3.000 m^2).

Za izvedljivost sončne elektrarne moramo najprej preveriti:

- Temperature v procesu.
- Vrsto procesa (šaržni ali kontinuirani).
- Razpoložljivost potrebnega skladiščenja.
- Možnosti povezovanja solarnega sistema v obstoječo procesno opremo (npr. s toplotnimi prenosniki, stroji ipd.) in priključitev na konvencionalni sistem dobave toplote.
- Možnosti rekuperacije odpadne toplote.
- Lastnosti površine strehe/tal za namestitev solarnega sistema.

[12] *Za pretvorbo površine [m^2] v nominal toplotno moč [kW] v standardnih pogojih obratovanja, se kot faktor pretvorbe v glavnem uporablja: 1 m^2 = 0,7 kW*

Izkušnje kažejo, da je razpoložljivost površine za namestitev solarnega sistema na strehi in okolici tovarne, eden izmed glavnih omejitev za vgradnjo večjih solarnih sistemov. Zato vedno dobro preglejmo razpoložljivo površino. V preglednici 9 so zapisani pogoji za načrtovanje solarnega sistema.

Preglednica 9. Pogoji za načrtovanje solarnega sistema v industriji.

Pogoj	Vplivi na energetsko in ekonomsko učinkovitost solarnega sistema v industriji
Delovna temperatura	Delovne temperature niso višje od 200 °C, najboljši izkoristki so pri temperaturi pod 100 °C.
Podnebje	Zelo dobri pogoji so v južni in osrednji Evropi.
Stalnost potreb Letna nihanja Dnevna nihanja	 Prekinitve v poletnem času znižajo izkoristke. Izgube so več kot sorazmerne trajanju prekinitve. Najugodnejša je kontinuirana dnevna potreba ali dnevna potreba s konicami. Zaradi kratkih prekinitev (nekaj ur) je priporočljivo vgraditi hranilnik toplote, kar le malo poviša stroške naložbe.
Velikost sistema	Ekonomska učinkovitost solarnega sistema je v veliki meri odvisna od njegove velikosti. Stroški sončne energije so tudi več kot 50 % nižji pri večjih sistemih kot pri majhnih sistemih.
Letni dobitki	Letni dobitki solarnega sistema naj bodo vsaj 400 kWh/m^2, da bodo ekonomsko upravičeni.
Delež sončne energije	Sistem naj bo načrtovan tako, da bo delež sončne energije manjši ali enak 60% (za kontinuirane potrebe).
Razpoložljiva površina strehe in tal	Razpoložljiva mora biti zadostna površina za namestitev solarnega sistema, delež sončne energije med naj bo 5 % in 60 %. Usmerjenost proti jugi z 10° nagibom je optimum za največji letni izkoristek sončne energije. Dovoljena so majhna odstopanja (±45° od južne usmerjenosti, ±15° od optimalnega nagiba). Izogibati se je potrebno sistemom z dolgimi cevmi.
Nosilnost strehe	Potreba po dodatni ojačitvi strehe poviša stroške naložbe in tako zniža ekonomsko upravičenost. Dodatna obremenitev sončnih kolektorjev je za standardne kolektorje med 25 kg/m^2 in 30 kg/m^2.
Rekuperacija odpadne toplote	Najprej je potrebno preučiti možnosti za rekuperacijo odpadne toplote, kajti solarne sisteme naj bi načrtovali samo za pokritje preostanka potreb po toploti.

Dodatna literatura

[1] H.Schweiger et al., POSHIP (Project No. NNE5-1999-0308), The Potential of Solar Heat for Industrial Processes, Final Report. Website: www.aiguasol.com/poship.htm

[2] Process heat collectors. State of the art within Task 33/IV, Editors: W. Weiss, M. Rommel, Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

[3] D. Jaehnig, W.Weiss, Design Guidelines – Solar space heating of factory buildings. With underfloor heating systems, Published by AEE INTEC with financial support of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology, Gleisdorf (Austria) 2007. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

[4] Solar Thermal Action Plan for Europe (STAP), Estif. Website: www.estif.org/281.0.html

[5] Potential for Solar Heat in Industrial Processes, Editors: C.Vannoni, R. Battisti, S. Drigo, Published by CIEMAT, Madrid (Spain) 2008. Website: www.iea-shc.org/task33/index.html

3.7.3.6 Biomasa in bioplin

Biomasa in bioplin sta obnovljiva vira energije, s katerima tudi lahko oskrbujemo industrijske procese. Biomasa je za industrijske gorilnike na voljo v obliki lesnih sekancev in pelet. Lahko uporabljamo tudi slamo vendar ta vrsta biomase zahteva tehnološko zahtevnejšo opremo, ali kakršne koli ostanke iz proizvodnega procesa, vendar je njihova uporabnost odvisna od dosežene kulirne vrednosti, kar pa je spet odvisno od vsebnosti vode in učinkovitosti sušenja biomase pred uporabo.

Gorilniki za biomaso za segrevanje in pregrevanje vode spadajo med najboljše razpoložljive tehnologije. Parni kotli na biomaso so manj pogosti vendar smo jih v preteklosti že uspešno uporabljali.

Fermentacija bioloških odpadkov v bioplin odpira nove možnosti njegove rabe. Največja prednost pred biomaso je, da je pred uporabo ni potrebno sušiti. Učinkovitost pretvorbe je odvisna od vsebnosti metana v plinski fazi in potrebnega čiščenja bioplina predno uporabimo npr. v motorjih. Bioplin kot gorivo uporabimo za proizvodnjo energije v plinskih (kombiniranih plin – trdo gorivo) kotlih za soproizvodnjo, v plinskih turbinah in gorivnih celicah ali ga lahko uporabimo kot gorivo v plinskih motorjih avtomobilov in tovornjakov.

Podrobnejše informacije o bioplinu

Bioplin je mešnica metana CO_2, H_2S, vode in drugih plinov, ki jih proizvedemo iz organskih snovi pod anaerobnimi pogoji (brez prisotnosti kisika) in z mikroorganizmi. Proizvodni proces sestavlja več stopenj fermentacije. Kvaliteta proizvoda je odvisna od surovin, vrste mikroorganizmov, procesnih parametrov (temperature, pH ipd.) in od postopkov ravnanja surovega bioplina.

V najnovejših proizvodnih obratih uporabljajo najboljše razpoložljive tehnike (kombinacije različnih mešanic surovin – ko-fermentacija). Npr. fermentacijo tekočih organskih gnojil z drugimi biološkimi surovinami in biološkim odpadnim materialom. Proizvodnja bioplina s temi dodatnimi materiali ima velike možnosti za povečanje neodvisnosti podjetja od zunanjih virov energije. Preglednica 10 prikazuje seznam različnih surovin za proizvodnjo bioplina.

Preglednica 10: Različne surovine za proizvodnjo bioplina.

Kmetijstvo	Klavnice	Industrije (npr. prehrambena)	Menze	Občina
Preostanek po žetvi	Odpadna voda (maščobe)	Krma	Ostanki hrane	Trava
Energijske rastline	Trdni odpadki (creva)	Žita	Ostanki iz kuhinje	Biološki odpadki
Gnojevka		Kvas	Odpadne maščobe	Odpadni mulj iz komunalnih čistilnih naprav
		Sadna kaša		

Preglednica 11: Tehnologije za predpripravo bioplina.

PREDOBDELAVA	PRIMERI
Mehanska/fizikalna	Mletje, rezanje, ultrazvočno
Kemična	Kisline, baze, oksidacija
Bio-tehnološka	Encimi, gobe
Toplotna	Ekspanzija pare, toplotno – tlačna hidroliza

Preglednica 12: Sestava bioplina glede na porabljene surovine.

komponente	Lesni plin		Plin iz KČN	Deponijski plin	Bioplin	Bioplin-povprečeno
	Zrak	Para				
CH_4	3 – 6 %	9 – 11 %	60 – 75 %	45 – 55 %	50 – 75 %	**55 %**
CO_2	*12 – 16 %*	20 – 25 %	30 – 40 %	30 – 40 %	25 – 45 %	**43,9 %**
H_2S			< 1 %	50 – 300 ppm	0 – 1 %	**0,05 %**
H_2O			nasičenje	nasičenje	nasičenje	nasičenje
H_2	11 – 16 %	33 – 40 %	sledi		0 – 1 %	**0,5 %**
O_2			< 1 %		0 – 1 %	**0,1 %**
N_2	45 – 60 %	< 3 %	< 4 %	5 – 15 %	0 – 3 %	**0,4 %**
NH_3					0 – 0,5 %	**0,05 %**
CO	13 – 18 %	25 – 30 %	sledi		-	-
Kurilna vrednost [kWh/m³]	**1,1 – 1,7**	**3,3 – 4,2**	**6 – 7,5**	**4,5 – 5,5**	**5 – 7,5**	**5,5**

* Vol % suhega plina

Različne tehnologije kot so npr. enostopenjski ali dvostopenjski procesi fermentiranja, mezofilni ali termofilni pogoji, mokra ali suha fermentacija vplivajo na kvaliteto in količino proizvedenega biolina. Predobdelava surovin ima, še posebej za celulozne in pol-celulozne materiale, pozitiven vpliv na donos. Najboljše razpoložljive tehnologije so prikazane v preglednici 11.

Ravnanje z surovim bioplinom je v mnogih primerih odvisno od njegove nadaljne uporabe. Odstranjevanje CO_2, H_2S in H_2O zviša kurilno vrednost in razširi področja uporabe. Zameljski plin ima povprečno kurilno vrednost 10 kWh/m³; bioplin ima povprečno kurilno vrednost 6 kWh/m³ (60 % kurilne vrednosti zemeljskega plina).

Dodatna literatura

[1] Handbook of Biogas Utilization, Second Edition, Ross, Charles C.; T. J. Drake III; Environmental Treatment Systems, Inc. July 1996

3.7.3.7 Energijsko učinkoviti kotli in gorilniki

Pri oceni učinkovitosti obstoječega kotla je med obiskom v podjetju priporočljivo, da pregledamo: leto vgradnje; tehnične podatke; stanje izolacije; netesnosti; ali izvajajo monitoring kotlav vključno z meritvami sestave in *T* dimnih plinov.

Izvedemo lahko različne ukrepe za znižanje rabe energije v novem ali obstoječem sistemu (kotlih, parnih kotlih, kondenzatnih kotlih ipd.). Še posebej moramo upoštevati:

- Raba električne energije za gretje procesov je zelo neučinkovita. Učinkovitost pretvorbe primarne energije v električno energijo za proces (vključno z distribucijskimi izgubami) je do 30 %. V energijsko učinkovitih kotlih in grelnikih je izkoristek nad 90 %.

- Vročevodi kotli imajo večji izkoristek kot parni. Za nizkotemperaturne procese lahko uporabljamo tudi kondenzatne kotle. Znižamo tudi toplotne izgube pri distribuciji. Poleg naštetega sistem vroče vode dovoljuje uporabo ostalih energetsko učinkovitih tehnologij kot so soproizvodnja, toplotne črpalke in solarni sistemi.

- Raba nizkotlačne pare (pri nizkih temperaturah) vodi do zniževanja stroškov in toplotni izgub.

- Z rabo zemeljskega plina ali utekočinjenega zemeljskega plina (LGP – liquified petroleum gas) lahko uporabljamo energijsko učinkovite tehnologije kot so kondenzatni kotli, neposredno zgorevanje ipd.

- Učinkovitost kotlov se hitro znižuje, če obratujejo pri obremenjenosti pod 30 %. Zato je primerno, da vgradimo dva ali več kotlov, ki bodo pokrivali celotne potrebe po toploti. Izogibajmo se predimenzioniranju kotlov. Visoko energijsko učinkovite kotle uporabljajmo za standardne potrebe, medtem ko manj učinkovite kotle uporabljajmo v koničnih potrebah.

- Optimiranje nadzora nam lahko pomaga pri zviševanju učinkovitosti.

- V primeru, da kotle in peči ustavljamo kadar spreminjamo vtočne surovine, lahko toplotne izgube zaradi vdora hladnega okoliškega zraka skozi dimnik znižamo z uporabo dušilnih loput.

- Glavni faktorji, ki vplivajo na učinkovitost so izgube z dimnimi plini in izgube zaradi sevanja skozi stene kotla ali peči. Učinkovitost povišamo z zniževanjem temperature dimnih plinov in izoliranjem kotlov in peči. Pravilno razmerje zraka in goriva (razmik zraka) zniža izgube skozi dimne pline in izboljša učinkovitost kotla ali peči.

- Z vračanjem kondenzata v parni kotel pridobimo energijo iz kondenzata (do 15 % zahtevane energije za proizvodnjo pare).

- Izgube odsoljevanja znižamo z izboljšano kemično pripravo napajalne vode in z rekuperacijo toplote iz iztoka odsoljevanja ter kaluženja. Ustrezna tehnična priprava napajalne vode zniža navarnost izločanja apnenca, s čemer vzdržujemo učinkoviti prestop toplote med zgorevalno komoro (kuriščem) in greto vodo v kotlu.

- Predgrelnik (dodatni toplotni prenosnik za gretje napajalne vode v kotel z rekuperacijo odpadne vode iz dimnih plinov) in/ali predgrelnik zgorevalnega zraka (rekuperator) z rekuperacijo odpadne toplote iz dimnih plinov povišata celotno učinkovitost sistema.

Dodatna literatura

[1] The Energy Research Institute Department of Mechanical Engineering University of Cape Town. H*ow to save money and energy in boiler and furnaces systems.* Website: http://www.3e.uct.ac.za
[2] Lawrence Berkeley National Laboratory Washington, DC for DOE, Improving Steam system Performance a sourcebook for industry. April 2004. Website: http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/steamsourcebook.pdf.
[3] Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants. July 2006. Website: http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
[4] Ralph L. Vandagriff. Practical guide to industrial Boiler systems. 2001. Marcel Dekker, Inc. Website: www.dekker.com
[5] V. Ganapathy ABCO Industries. Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators Design, Applications, and Calculations. 2003 Marcel Dekker, Inc.Website: www.dekker.com

3.7.3.8 Energijsko učinkovita proizvodnja hladu

Industrijske hladilnike uporabljamo za nadzorovano hlajenje proizvodov in procesne opreme ali porabljamo hlad za prezračevanje proizvodnih hal. Poznamo dve skupini hladilnikov glede na uporabljen hladilni krog:

- Kompresorski hladilniki potrebujejo za delovanje mehansko energijo in so sestavljeni iz elektromotorjev, parne ali plinske turbine. Najpogostejši so takšni, ki jih poganja električna energija. Glede na vrsto komresorja jih lahko razvrstimo na batne, rotacijske, vijačne in centrifugalne kompresorske hladilnike. COP število velikih kompresijskih hladilnikov je običajno 4,0 ali več.

- *Absorpcijski hladilniki* za delovanje potrebujejo toplotno energijo, ki jo pridobijo iz pare, vroče vode ali dimnih plinov. COP število absorpcijskih hladilnikov je med 0,5 in 0,8 (enostopenjska izvedba) in med 1,0 in 1,3 (dvostopenjska izvedba)[13].

Hladilniki absorbirano energijo preko hladilnega medija spuščajo v okolje. Energijo lahko izpustijo v zrak (zračno hlajenje) ali v vodo (vodno hlajenje). Vodne hladilnike uporabljamo skupaj s hladilnimi stolpi, s katerimi izboljšamo njihovo termodinamsko učinkovitost, vendar je takšen hladilni sistem dražji.

Pri načrtovanju in uporabi hladilnikov moramo vedeti:

- *Temperatura hladu*. Učinkovitost pretvorbe proizvodnje hladu je močno odvisna od uparjalne temperature. Višja je višji je izkoristek. V mnogo primerih uporabljamo en hladilnik za več različnih procesov. Če imamo procese, ki potrebujejo hlad pri različnih temperaturah, jih postavimo po skupinah z enako temperaturo in jim hlad dobavljajmo pri najvišji možni temperaturi.

- *Temperaturna razlika med uparjanjem in kondenzacijo*. Nižja temperaturna razlika je rezultat višjih COP števil. S primernimi načrti hladilnega stolpa in obtočnega sistema lahko izboljšamo izkoristek.

- *Razpoložljivost nizkotemperaturne toplote med 80 °C in 90 °C*. To toploto lahko dobimo iz rekuperacije odpadne toplote, iz soproizvodnje (npr. motorjev) ali od solarnih sistemov. V teh primerih proučimo uporabno toploto parnih hladilnikov.

[13] *Absorpcijski hladilniki za svoje delovanje uporabljajo toplotno energijo namesto mehanske ali električne energije. Zato ne moremo primerjati COP števil med različnimi vrstami hladilnikov.*

- *Obratovalne ure*. Hladilniki so draga oprema in jih moramo izbrati tako, da zagotovijo visoke faktorje obratovanja (od 3 000 h/a do 4 000 h/a ali več). Z uporabo hranilnikov hladu lahko povišamo število obratovalnih ur.

- *Možnosti prostega hlajenja*. Hladilnike uporabljamo le v primerih, ko potrebne temperature hlajenja ne moremo doseči z neposrednim odvajanjem toplote v okolje. V nekaterih delih sveta je okoliška temperatura lahko nižja kot pa je temperatura hladu, ki ga potrebujemo v določenem časovnem obdobju (ponoči ali v zimskem času). Obstajajo hladilniki ki omogočajo, da v času nizkih temperatur v okolju, naredimo zanko med hlajenjem medijem in okoliškim zrakom. Rezultat uporabe te vrste hladilnikov je znatno znižanje rabe energije. Dobri kandidati za prosto hlajenje so procesi s sorazmerno konstantno obremenjenostjo v podnebju, kjer imamo mile zime ali ponoči nizke tempertaure.

- *Uporaba okolju prijaznih in naravnih hladil*. V primeru, da izberemo kompresorski hladilni sistem moramo izbrati tudi okolju prijazno hladivo, sprejeto po mednarodnih dogovorih. Najprimernejša so hladiva z nizko vrednostjo okoljskih kazalcev ODP - Ozone Depletion Potential in GWP - Global Warming Potential in naravna hladiva kot so amonijak in ogljikov dioksid, ki imata odlične termofizikalnih lastnosti in zagotavljata visoko učinkovitost delovanja.

- *Uporaba odpadne toplote iz hladilnika*. Odpadno toploto iz kondenzatorja, ki jo običajno odvedemo v hladilnih stolpih, uporabimo za gretje fluidov pri nizkih temperaturah (do 50 °C, hladilnik deluje kot toplotna črpalka; temperaturna razlika med ohlajeno vodo in kondenzatom je mogoča do 40 K).

Dodatna literatura:

[1] EU BREF *Reference Document on the application of Best Available.Techniques to Industrial Cooling Systems.* December 2001. The European Comission.
[2] ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment. ASHRAE, 2008.

EINSTEIN korak 7: shematično načrtovanje možnosti prihrankov in določanje preliminarnih energetskih ciljev

> seznam priporočil za možne prihranke pri energiji

> možnosti optimiranje procesa in potreb po toploti

> analiza teoretičnih možnosti rekuperacije odpadne topote

> načrtovanje omrežja toplotnih prenosnikov in skladišča

> načrtovanje alternativnih sistemov dobave

3.8 Izračun eneregijske učinkovitosti in okoljska analiza

Za oceno rabe energije predlaganega sistema dobave toplote in hladu uporabimo model za izračun (simulacijo). V EINSTEIN računalniškem programu je uporabljen enostavni simulacijski model za vse tehnologije.

3.8.1 Hitri izračun

Izračun notranje energijske učinkovitosti je v EINSTEIN-u je zasnovan na celotnih potrebah po toploti in možnem celotnem iztoku iz opreme v kaskadi. Potreba po toploti je, glede na značilnosti procesa in obratovalnega režima, temperaturno in časovno odvisna: $\Phi_{\mathrm{D}} = \Phi_{\mathrm{D}}(T,t)$

Potencialna izhodna moč P_{nom} razne opreme za dobavo toplote je odvisna od temperaturnih nivojev dobave in v posebnih primerih tudi od toplotne črpalke in razpoložljivosti odpadne toplote $\Phi_{\mathrm{A}} = \Phi_{\mathrm{A}}(T,t)$.

Dobava koristne toplote posamezne opreme v danem položaju j v kaskadi dobave toplote, je lahko izračunana iz potrebe po toploti in nominalne moči, kot prikazuje enačba 3.4 in 3.5.

$$\Phi_{\mathrm{USH},j}(T,t) = \min\left[P_{\mathrm{nom}}(T), \Phi_{\mathrm{D},j}(T,t)\right] \qquad (3.4)$$

Kjer je

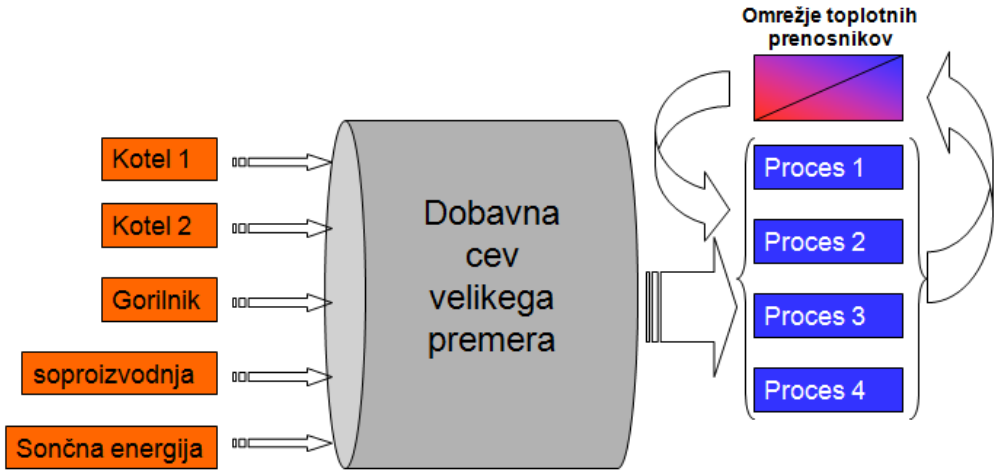
$$\Phi_{\mathrm{D},j}(T,t) = \Phi_{\mathrm{D},j-1}(T,t) - \Phi_{\mathrm{USH},j-1}(T,t) \qquad (3.5)$$

preostala potreba po toploti opreme j, po že pokriti potrebni toploti iz opreme od 1 ... j–1 prejšne kaskade dobave toplote.

Izračune z EINSTEIN orodjem izvedemo v enournih presledkih za celotno leto, z upoštevanjem časovnih in temperaturnih nihanj potreb po toploti v različnih obdobjih dneva, sezonskih nihanj, vikendov in dopustov.

Glavna omejitev izračunov z EINSTEIN orodjem je uporabljen pristop ˝vse skozi eno cev˝ (ali celotna potreba): podrobnosti in posebnosti resničnega distribucijskega sistema pri energijskih izračunih[14] niso upoštevane.

Za podrobnejše in natančnejše izračune (simulacijo) lahko uporabimo dodatne računalniške programe.



Slika 34: Za modeliranje sistema dobave toplote in hladu je v EINSTEIN-u uporabljen pristop ˝vse skozi eno cev˝ ali celotna potreba.

[14] *Toplotne izgube v distribucijskem sistemu so upoštevane pri izračunih o celotni povprečni učinkovitosti distribucijskega sistema.*

3.8.2 Simulacija sistema z dodatnimi računalniškimi programi

Za primere, pri katerih model hitrega izračuna po EINSTEIN-u ni primeren (zaradi nezadostne natančnosti izračunov ali bi zaradi uporabe pristopa ˝vse skozi eno cev˝ prišli do napačnih razultatov), uporabimo dodatni simulacijski program. Rezultate dodatne zunanje simulacije lahko podamo v EINSTEIN računalniški program in jih uporabimo pri nadaljni analizi. Nekatere obstoječe dodatne računalniške programe za simulacijo lahko najdemo v EINSTEIN poročilu: Pregled praks in orodij termičnih energetskih pregledov (D2.2).

3.8.3 Okoljske analize

Kot je že zapisano v poglavju 2.1, EINSTEIN uporablja sledeče parametre kot glavne kazalce okoljske ocene:

- *Rabo primarne energije* kot glavni indikator pri ocenjevanju vplivov na okolje.
- *Emisjie CO_2.*
- *Proizvodnjo visoko radioaktivnih odpadkov*, ki so povezani s proizvodnjo električne energije.
- *Porabo vode.*

Količino parametrov za oceno vplivov na okolje pridobimo neposredno iz rabe končne energije v industriji, ki so rezultat analize energijske učinkovitosti, opisane v prejšnjih poglavjih.

Parametre pretvorbe za goriva oblikujemo v EINSTEIN podatkovni bazi in uporabljamo za značilne mešanice elekrične energije.

Na splošno lahko rečemo, da je kot glavni kazalnik najbolj zaželen parameter *raba primarne energije*, katerega vrednost moramo znižati, ker predstavlja breme različnih vrst emisij.

Parameter CO_2 emisije – navadno uporabljen kot okoljski kazalnik – zanemarja ostale vrste emisij kot so npr. radioaktivni odpadki in tako podcenjuje (običajno negativne) vplive na okolje, tako da zamenjamo rabo goriv z električno energjio, ki je v večini proizvedena v jedrskih elektrarnah.

EINSTEIN korak 8: Izračun energijske učinkovitosti in okoljska analiza

> hitri izračun

> simulacija z dodatnimi računalniškimi programi

> energijska in okoljska analiza

3.9 Ekonomska in finančna analiza

Za podjetje je ekonomska analiza predlaganih ukrepov za dobavo energije ena izmed najbolj kritičnih faz. Zato moramo prav ta korak najbolj skrbno proučiti, da bomo z natančnimi in podrobnimi podatki prišli do zanesljivih rezultatov.

Za ekonomsko analizo novega sistema dobave energije moramo obratovalne stroške (stroške energije) primerjati z stroški obstoječe opreme. Primerna metodologija je izračun vseh stroškov, ki se bodo pojavljali v prihodnosti v obstoječem sistemu dobave toplote in hladu ter jih primerjali s pričakovanimi stroški naložbe in ostalimi stroški predlagane alternativne rešitve. Razlika med omenjenimi stroški je pričakovani denarni tok, ki se pojavi zaradi sprememb v opremi za dobavo topplote in hladu.

Preučiti moramo sledeče kategorije postopkov:

- Stroške naložbe:

  - ponudbe dobaviteljev ali vgradnja rabljene opreme,
  - subvencije in financiranje,
  - dohodke od prodaje obstoječe opreme.

- Obratovalne stroške:

  - stroške energije vključno s pričakovanim dvigom cen energentov
  - stroške vzdrževanja, plače delavcev, zavarovalne premije, patente in licence ipd.

- Nepredvidene odhodke

  - V primeru, da se trenutni sistem dobave ni spremenil: visoke davke, stroške zaradi neupoštevanja zakonodaje, negativne vplive na tržni delež, trgovanje z emisijskimi kuponi.
  - V primeru spremembe sistema dobave: nižji davki, pozitivni vplivi na tržni delež, izboljšanje podobe podjetja na trgu.

- Ostale stroške

  - stroške popravil opreme, zamenjavo kolektorjev, neredno vzdrževanje, dovoljenja, stroške preventivnih ukrepov ipd.

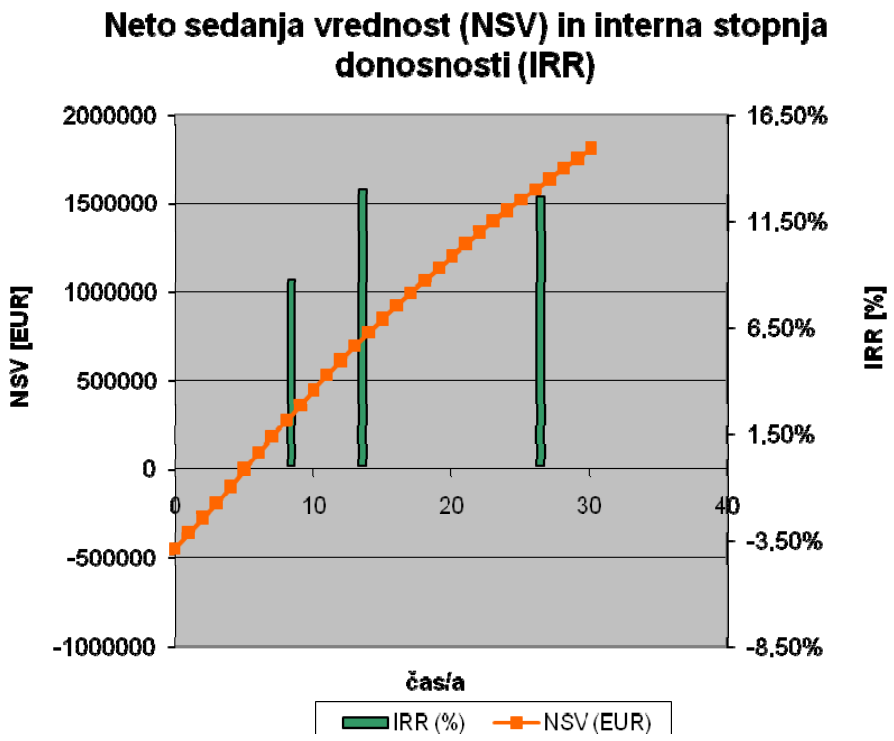
Pri običajnem ocenjevanju stroškov se osredotočamo na stroške naložbe in obratovalne stroške. Poleg teh stroškov moramo upoštevati tudi nepredvidene odhodke in ostale stroške, ker imajo pomemben ti vpliv na končni rezultat. Opravljena analiza stroškov nam omogoči določiti vse parametre, ne samo stroške energije, ki vplivajo na ekonomsko oceno energijske učinkovitosti vgrajenega sistema dobave energije v industrijske procese.

Celotna ocena stroškov (TCA) je izvedena za daljše časovno obdobje in vključuje tudi makroekonomske parametre. Vključuje nepredvidene odhodke in ostale stroške.

Spodaj omenjeni parametri so odločilni za rezultate celotne ocene stroškov.

- Kreditna obrestna mera.
- Obrestna mera podjetja.
- Pričakovano gibanje cen energije.
- Splošna obrestna mera
- Izbira časovnega obdobja za ekonomsko analizo.

Rezultati ekonomske analize vključujejo naložbo, vračilni rok in razmerje koristi in stroškov, vendar pa naj vsebujejo tudi ekonomske parametre, ki prikazujejo ekonomsko učinkovitost v daljšem časovnem obdobju. Pomembni sta interna stopnja donosnosti (IRR - internal rate of return) in neto sedanja vrednost donosa (NPV - net present value). Za dodatna pojasnila glejte poglavje 2.6.



Slika 35: Rezultati ekonomske analize.

EINSTEIN korak 9: Ekonomska in finančna analiza

> izračun glavnih ekonomskih parametrov

> ocena možnosti za financiranje in naložbo

> izdelava primerne finančne sheme

3.10 Poročanje in predstavitev

3.10.1 Vsebina poročila

Po končanem energetskem pregledu moramo izdelati končno poročilo.

Poročilo o energetskem pregledu mora vsebovati vsaj sledeče informacije:

- Povzetek za poslovno odločanje, kjer so zapisani glavni rezultati energetskega pregleda.
- Zbrani podatki (pridobljeni ali ocenjeni), ki smo jih uporabili za analizo dejanskega stanja. Ocene in hipoteze moramo jasno označiti.
- Razčlenitev dejanskega stanja o rabi energije in njihovo primerjavo z referenčnimi podatki za primerjavo (benchmark).
- Opis različnih analiziranih alternativnih predlogov, jasno nakazane spremembe glede na dejansko stanje in značilnosti vsake posamezne alternative. Vsako alternativo označimo s kratico, da jih lahko primerno zapišemo v tabelah in slikah za medsebojno primerjavo.

  Opis laternativnih predlogov zapišemo skupaj s shemami (blokovnimi diagrami), ki naj jasno ponazorijo novo opremo v obstoječem sistemu.
- Primerjalne tabele in slike z glavnimi rezultati (energijskimi, okoljskimi in ekonomskimi) pregledanih alternativ.
- Predstavitev natančne finančne analize končnega predloga (ali rešitve: včasih je bolje, če predstavimo več dobrih alternativ, da se lahko podjetje samo odloči o najboljši). Omenimo tudi možnosti pogodbenega financiranja in možne vire financiranja.
- Jasne navedbe in ugotovitve o mogočih nezanesljivostih, ki obstajajo po končani prvi in grobi oceni, še posebej, če imajo le-te pomemben vpliv na izvedljivost predlogov. Jasno označimo vse vidike, ki jih moramo natančneje analizirati, preden se dokončno odločimo o spremembi sistema.

EINSTEIN računalniški orodje samodejno zapiše poročilo, ki vsebuje vse zgoraj navedene informacije. To poročilo je zapisano na OpenOffice podlagi in jih lahko dodajamo in spreminjamo zapisane podatke.

3.10.2 Predstavitev v podjetju

Predstavitev energetskega pregleda mora biti strokovno predstavljena, v primeru nejasnosti moramo naše predloge podrobneje pojasniti, izogibati se moramo nesporazumom in jasno razložiti prednosti naših predlogov.

V primeru, da predstavitve ne moremo izvesti mora biti končno poročilo enostavno napisano, da je primerno za pošljanje po elektronski pošti.

EINSTEIN korak 10: Poročanje in predstavitev v podjetju

> izdelava jasnega poročila

>predstavitev v podjetju

3.11 Skupno učenje

3.11.1 Svoje izkušnje delimo z drugimi

Vsaka študija, ki jo izvajamo nam prinese nove izkušnje, ki jih v prihodnosti lahko uporabimo pri izvajanju energetskih pregledov. Proces skupnega učenja lahko izvajamo po različnih poteh za različne stopnje:

- Delimo informacije v lastnem podjetju. Podatke, ki smo jih vnesli v EINSTEIN-ovo podatkovno bazo lahko uporabimo pri naslednjih projektih, npr. lahko jih uporabimo kot primerjalne podatke (benchmark) za podobne industrijske procese, ali kot vir idej za predloge primernih ukrepov ipd.

- Delimo informacije z ostalimi uporabniki EINSTEIN-a. Posodabljanje EINSTEIN orodja je lahko anonimno (EINSTEIN orodje ponuja različne možnosti/stopnje zaupnosti s katerimi samodejno odstrani naketere podatke iz projekta). Izpopolnitev podatkov je možno naposredno preko spletne strani EINSTEIN-a in sicer na www.iee-einstein.org ali pošljemo kopijo preko elektronske pošte na naslov info@energyxperts.net.

- Uporabniki pomagamo drugim uporabnikom: obstaja forum za uporabnike EINSTEIN orodja, kjer lahko izmenjavamo naša mnenja ali pomagamo ostalim uporabnikom. Najprej se moramo vpisati na spletni strani EINSTEIN orodja http://sourceforge.net/projects/einstein.

3.11.2 Pomoč za izboljšanje metodologije in EINSTEIN računalniškega orodja

EINSTEIN je skoraj popoln, vendar ne povsem. Vedno obstaja kaj, kar je možno izboljšati; nove tehnologije ali novi podatki; dejastva, ki jih nismo upoštevali; posebni primeri, ki jih ne moremo jasno predstaviti v standardni shemi EINSTEIN-a ipd.

Uporabimo v orodju razpoložljive obrazce ali na spletni strani in s katerimi poročamo o možnih napakah, idejah za izboljšave ipd.

3.11.3 Postati EINSTEIN-ov razvojnik

EINSTEIN orodje bomo s skupnimi močmi razvijali tudi v prihodnosti. Lahko posodobimo kode virov, razvijamo in prispevamo lastne module ipd.

EINSTEIN skupina bo po pregledu kakovosti in združljivosti z orodjem predlagane module vključila v naslednjo različico EINSTEIN-a.

Kako? EINSTEIN skupini pošljemo zahtevek za pridobitev EINSTEIN razvojnika po že prej omenjenih poteh.

3.12 Spremljanje

3.12.1 Od pregleda do namestitve novega sistema

Vsaka študija, ki jo izvajamo nam prinese nove izkušnje, ki jih lahko uporabimo pri izvajanju prihodnih energetskih pregledov. Tako pomembno kot sam energetski pregled je tudi nadaljno spremljanje izvajanja ukrepov. Glavni motiv spremljanja je prepričati podjetje, da izvede predlagane naložbe in vgradi novi in energijsko učinkovitejši sistem.

Tudi negativne reakcije s strani podjetja so pomembna izkušnja. Poskušamo pridobiti informacije o podrobnosti neizvajanja predlogov, ki so bili ekonomsko in energijsko izvedljivi. Če teh odločitev ne moremo spremeniti bomo lahko z novimi izkušnjami drugače predstavimo izsledke energetskih pregledov.

3.12.2 Napovedi in dejansko delovanje novih sistemov

V primeru, da so v podjetju uresničili zastavljene rešitve, si lahko oddahnemo, sprostimo in veselimo svojega uspeha ter počasi, po določen času....začnemo z novim projektom.

Vendar je priporočljivo, da ostanemo v stiku s podjetjem, da lahko tudi po nekaj letih pogona novega sistema spremljamo njihovo delovanje (pri nekaterih tehnologijah lahko po nekaj letih pride do problemov). Najboljši način je sistemsko spremljanje in sicer:

- Najboljši način je podpis pogodbe za vzdrževanje. Tako smo v neposrednem sitku s podjetjem tudi v prvih letih obratovanja.
- V določenih časovnih obdobjih pokličemo zaposlene in jih prosimo, da podajo svoje izkušnje z novim sistemom.
- Prosimo za izvedene meritve o delovanju sistema in z njimi primerjamo naša predvidevanja o delovanju sistema.
- Vodimo dnevnik poročil o problemih in njihovih možnih preprečitvah.

4 Primeri

4.1 Celotna metodologija

Začetna točka:

Po predstavitvi učinkovite rabe in obnovljivih virov energije, se s tehnično direktorico podjetja EINSTEIN Pranje embalaže d.o.o. ga. Glažar sestanemo in se dogovarjamo o možnostih nadaljnega sodelovanja. Direktorico zanimajo možnosti rabe obnovljivih virov energije, da bi tako znižala energijske stroške, ki v zadnjem času rastejo 'v nebo'. Izmenjamo si vizitke in se dogovorimo, da bomo poslali dodatne infomacije.

4.1.1 EINSTEIN korak 1: Motiviranje

Kot smo obljubili na sestanku s tehnično direktorico podjetja *EINSTEIN* Pranje embalaže d.o.o., v podjetje pošljemo dodatne informacije o obnovljivih virih energije.

Po nekaj dnevih jo pokličemo in ona nam pove, da jo zanima EINSTEIN energetski pregled in predlaga obisk podjetja, ki je na žalost od našega podjetja oddaljeno 150 km. Pred dogovorjenim obiskom nam bo poslala določene podatke in procesne sheme, da se bomo že pred obiskom seznanili s podjetjem in njihovimi proizvodnimi procesi ter si v vnaprej pripravili vprašanja.

4.1.2 EINSTEIN korak 2: Zbiranje podatkov

EINSTEIN-ov seznam potrebnih podatkov pošljemo ga. Glažar, da si bo lahko ustvarila sliko, katere informacijo bomo želeli. Poleg seznama pošljemo tudi EINSTEIN-ov vprašalnik, katerega naj v podjetju izpolnijo še pred našim obiskom in vrnejo po faksu ali po elektronski pošti.

Po nekaj dnevih dobimo vprašalnik nazaj, vendar je podanih le nekaj odgovorov:

Nekaj splošnih podatkov o podjetju: ime podjetja, naslov, letni obseg proizvodnje ipd.

Samo en process:	pranje rezervoarjev
Potreba po vroči vodi:	100 m^3 na dan pri T = 80 ºC
Oprema za dobavo toplote:	parni kotel, brez tehničnih podatkov
Raba goriv:	zemeljski plin, brez podrobnih podatkov o rabi

Čeprav je na prvi pogled primer podjetja EINSTEIN Pranje embalaže d.o.o. enostaven je priporočljivo poiskati dodatne informacije o podobnih procesih (npr. v podatkovni bazi EINSTEIN računalniškega orodja o BAT). Tako lahko najdemo ideje o možnih izboljšavah. Nekateri predlogi, ki so primerni so:

Optimiranje pralnega procesa:

- "preverimo ali lahko znižamo porabo vode in/ali znižamo temperaturo vode, z uporabo drugega detergenta"
- "preverimo ali je mogoče odpadno vodo ponovno uporabiti oz. obtakati"

Predlogi za dobavo toplote:

- "preverimo možnost rekuperacije toplote iz odpadne vode"
- "gretje vode pri nizkih temperaturah s sončno energijo"

4.1.3 EINSTEIN korak 3: Analiza prvih informacij

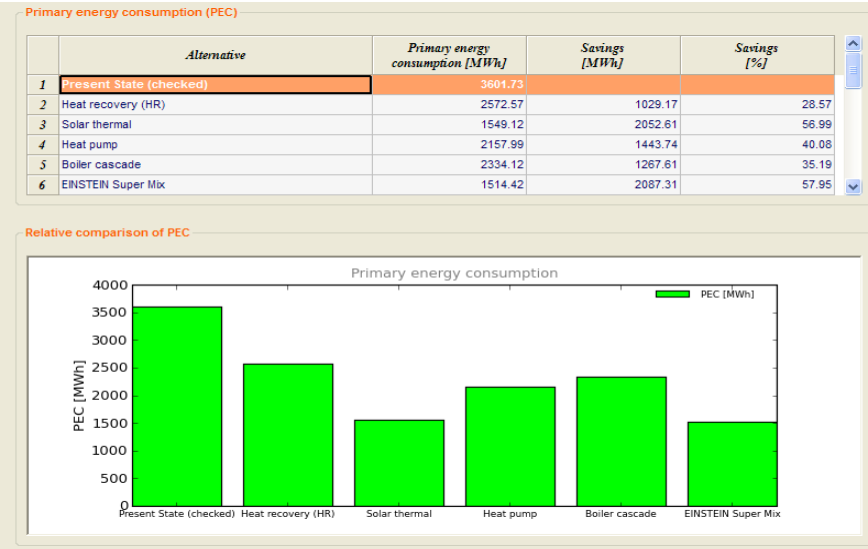
Dobljene podatke vstavimo v EINSTEIN računalniški program ter pogledamo ali lahko že s temi podatki izdelamo prve ocene. Glede na izkušnje, so zbrani podatki večinoma pomanjkljivi zato moramo možnost rabe odpadne toplote grobo oceniti. Za prvo oceno moramo predpostaviti, da jih podjetje pred izdelavo ukrepov mora potrditi.

- Količina odpadne vode je enaka količini porabljene vroče vode: 100 m^3/dan
- Temperatura odpadne vode: T = 50 ºC

Ker želimo le prvo oceno, zaženemo EINSTEIN le v obliki ˝hitre in grobe˝ ocene. Pri tem dobimo sledeče rezultate:

- Imamo srečo: zadostnost podatkov že za prvo hitro in grobo oceno.
- Za natančnejšo analizo potrebujemo nominalno moč vgrajenega kotla.
- Ocenjena letna potreba po toploti je 2 118 MW h in raba goriv je ocenjena na 2 729 MW h; 71 % celotne potrebne toplote je približno 1 500 MW h pri T < 60 °C.
- Zahtevano dobavo toplote lahko z rekuperacijo odpadne toplote znižamo na 1 435 MW h.
- Kot primerne dodatne rešitve za energijsko učinkovitost dobimo:
  a) solarni sistem z nominalno kapaciteto 490 KW h pokrije 46 % potreb po toploti.
  b) toplotno črpalko, ki pokrije 22 % potreb po toplot.
  c) kombinacijo obeh predlaganih sistemov.

Slika 36 prikazuje primerjavo ocenjenega dejanskega stanja rabe primerne energije.



	Alternative	Primary energy consumption [MWh]	Savings [MWh]	Savings [%]
1	Present State (checked)	3601.73		
2	Heat recovery (HR)	2572.57	1029.17	28.57
3	Solar thermal	1549.12	2052.61	56.99
4	Heat pump	2157.99	1443.74	40.08
5	Boiler cascade	2334.12	1267.61	35.19
6	EINSTEIN Super Mix	1514.42	2087.31	57.95

Slika 36: Primerjava ocenjenega dejanskega stanja rabe primarne energije in možnost znižanja rabe primarne energije z različnimi ukrepi.

Da bi lahko potrdili prve rezultatekontaktiramo podjetje in vprašamo po nominalni moči vgrajenega kotla. Dobimo podatek, da imajo vgrajen kotel nominalne moči 3 MW.

Ker pa nismo največji strokovnjaki za obnovljive vire pokličemo kolege, ki se ukvarjajo z obnovljivimi viri in pridobimo dodatne informacije.

Ko si ustavarimo približno sliko o rabi energije v podjetju, pregledamo podatke za primerjavo med podobnimi procesi. Dobimo odgovor na vprašanje ali je dejanska raba energije v mejah dobre prakse ali ne.

Kot rezultat možnih ukrepov, ki jih dobimo med prelimirano analizo, podamo seznam dodatnih potrebnih podatkov:

- Določiti moramo temperaturo odpadne vode in stopnjo njene onesnaženosti (zaradi možnosti nastanka problemov pri rekuperaciji odpadne toplote).
- Izračunati moramo razpoložljivo površino in lastnosti strehe za možnost vgradnje solarnega sistema.
- Izračunati moramo izkoristek obstoječega parnega kotla, oceniti njegovo starost in stopnjo ohranjenosti, da se lahko odločamo o njegovi zamenjavi.

4.1.4 EINSTEIN korak 4: Hitra in groba prva ocena

V tem primeru so razpoložljivi podatki zadostni za prvo hitro in grobo oceno. Rezultate lahko že predstavimo v podjetju, zato iztiskamo standardno poročilo in se odločimo ali ga bomo poslali po pošti ali osebno izročili.

4.1.5 EINSTEIN korak 5: Obisk podjetja

Na prvem obisku podjetja predstavimo izsledke preliminarne ocene s katerimi podjetje zniža stroške energije. Še posebej so v tem podjetju zainteresirani za predloge o rekuperaciji odpadne toplote in vgradnji solarnega sistema.

Zato se osredotočimo na zbiranje dodatnih informacij s katerimi bomo lahko natančneje izračunali možnosti izvedbe predlaganih ukrepov. Določiti moramo naslednje dodatne informacije:

- Obstoječi parni kotel je zelo star in podjetje že razmišlja o njegovi zamenjavi. Po podatkih ga. Glažar je bila raba zemeljskega plina v zadnjih treh letih med 300 000 m^3/a in 350 000 m^3/a.
- Razpoložljiva površina strehe je 2 000 m^2 in nosilnost strehe je zadostna za vgradnjo solarnega sistema.
- Vso odpadno vodo zbirajo v zbirnem rezervoarju, od koder jo črpajo na čistilno napravo. Iz podatkov je razvidno, da odpadna voda ni korozivna in ne vsebuje večjih količin delcev kot so vlakna, ki bi povzročala probleme v toplotnem prenosniku.

Ker imamo s seboj prenosni računalnik na katerem je nameščen EINSTEIN računalniški program, lahko zbrane podatke vnesemo v program na licu mesta in preverimo ali so pravilni. V tem primeru so ti podatki pravilni. Zbrani podatki rabe energije nam potrdijo, da je obstoječi kotel zelo neučinkovit (izkoristek kotla je le 67 %).

Med ogledom procesa smo izmerili temperaturo odpadne vode v rezervoarju.

- Izmerjene temperature odpadne vode v rezervoarj: (a) T = 51,3 ºC (medtem ko so paralelno delovale tri enote pranja); (b) T = 42,8 ºC (v trenutku, ko je delovala le ena enota pranja).

Podatki se ne razlikujejo veliko od začetne ocene. Vendar vseeno predlagamo, da nekdo od zaposlenih v podjetju spremlja in beleži temperaturo med pranjem, med zagonom in zaustavitvijo sistema in prav tako v tem času spremlja in beleži še porabo vode.

Po končanem ogledu svoja opažanja na kratko podamo ga.Glažar. Povemo ji, da po našem mnenju glavni vidiki prve študije držijo. Predlagamo ji, da počakamo še na manjkajoče podatke, ki jih bodo po dogovoru izmerili. Ga Glažar obljubimo končno poročilo v prihodnjih dveh tednih.

4.1.6 Einstein korak 6: Analiza dejanskega stanja

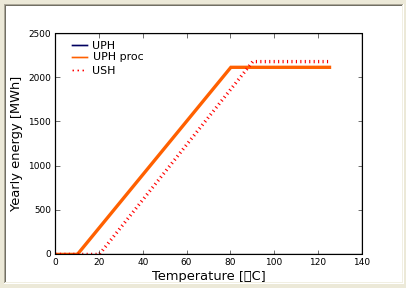
Po analizi manjkajočih podatkov izračunamo, da je temperature odpadne vode T = 45.2 ºC, zato se odločimo, da začetno oceno temperature popravimo iz T = 50 °C na T = 45 ºC. Porabo toplote v procesu razčlenimo po temperaturah, kot prikazuje slika 37.

Nadalje potrdimo še predhodne domneve o neučinkovitosti obstoječega sistema dobave toplote. Izkoristek kotla je le 67 %.

Heat demand (UPH) and supply (USH) by temperature

	Temperature levels [°C]	Heat demand (UPH) by process temperature (PT) [MWh]	[%]	cumulative [%]	Heat supply (USH) by central supply temperature (CST) [MWh]	[%]	cumulative [%]
1	< 60 °C	1513.06	71.43	71.43	1247.47	57.14	57.14
2	60 - 80 °C	605.22	28.57	100.00	623.74	28.57	85.71
3	80 - 100 °C	0.00	0.00	100.00	311.87	14.29	100.00
4	100 - 120 °C	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
5	120 - 140 °C	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
6	140 - 180 °C	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00

Distribution of heat demand (UPH) and supply (USH) by process temperatures



Slika 37: Razčlenitev rabe energije (primer): procesna toplota in dobava toplote po temperaturnih nivojih (opomba: to je minimalna zahtevana temperature pri dobavi toplote in ne dejanska temperature pare).

4.1.7 EINSTEIN korak 7: Konceptualno načrtovanje ukrepov

4.1.7.1 Optimiranje procesa

Po razpravi v podjetju smo zaključili, da samega procesa pranja ne moremo izboljšati. Zato se osredotočimo na rekuperacijo odpadne toplote in optimiranje sistema dobave toplote.

4.1.7.2 Rekuperacija odpadne toplote

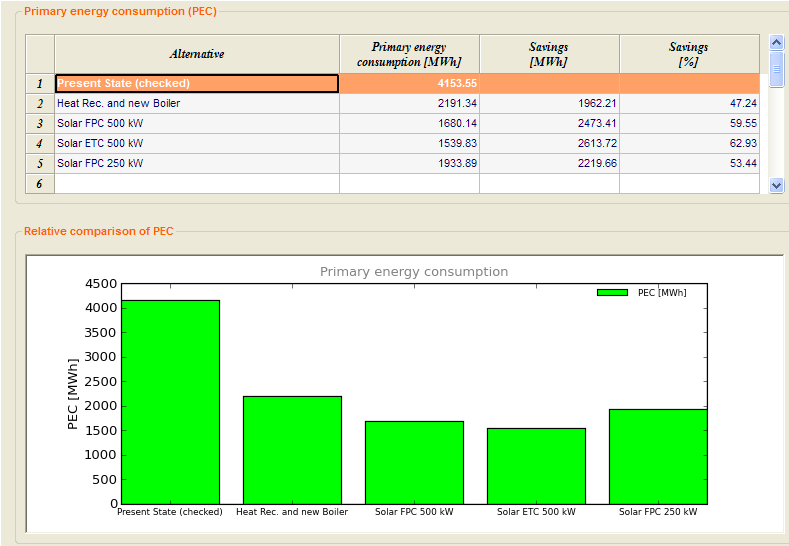
Kot prvi ukrep pri zvišanju energijske učinkovitosti predlagamo rekuperacijo toplote iz odpadne vode za gretje sveže napajalne vode. Uporabimo EINSTEIN računalniški program za načrtovanje primernega omrežja toplotnih prenosnikov in skladiščenja. Preostala potrebna toplota nam služi kot osnova za določanje ukrepov z optimiranjem dobave toplote.

4.1.7.3 Dobava toplote

Ker želimo podati hitro oceno uporabimo funkcije v EINSTEIN računalniškem programu, ki avtomatsko poiščejo ukrepe. Nenazadnje lahko še uravnamo naš predlog kombiniranega sistema rekuperacije odpadne toplote, solarnega sistema in zamenjavo predimenzioniranega kotla.

Samodejno ustvarjeni predlogi predvidijo solarni sistem z močjo 490 kW z cevnimi kolektoji.
Vendar se odločimo, da bomo predlog nekoliko spremenili:

- Moč solarnega sistema bo 500 kW.
- Primerjamo različne vrste sončnih kolektorjev med seboj: ploščni (FPC) in cevni (ETC) kolektorji.
- Preučimo tudi predlog o tretjem manjšem solarnem sistemu, moči 250 kW.

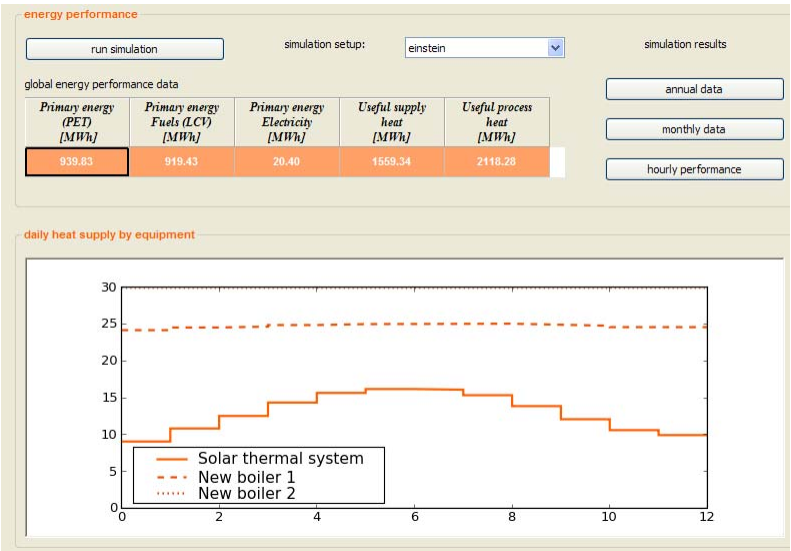


	Alternative	Primary energy consumption [MWh]	Savings [MWh]	Savings [%]
1	Present State (checked)	4153.55		
2	Heat Rec. and new Boiler	2191.34	1962.21	47.24
3	Solar FPC 500 kW	1680.14	2473.41	59.55
4	Solar ETC 500 kW	1539.83	2613.72	62.93
5	Solar FPC 250 kW	1933.89	2219.66	53.44
6				

Slika 38: Primerjava dejanskega stanja rabe primerne energije in znižanje rabe energije s primernimi ukrepi. Vsi predlogi o solarnem sistemu so osnovani na alternativi "Rekuperacija in novi kotel" in vključujejo tudi rekuperacijo odpadne toplote in kotla na obnovljive vire.

4.1.8 EINSTEIN korak 8: Izračuni energijske učinkovitosti

Izračune energijske učinkovitosti izvajamo z EINSTEIN računalniškim orodjem. Rezultat izračunov je prikazan na sliki 39.



Slika 39: Primerjava dejanskega stanja rabe primerne energije in znižanje rabe energije s primernimi ukrepi. Vsi predlogi o solarnem sistemu so osnovani na alternativi "Rekuperacija in novi kotel" in vključujejo tudi rekuperacijo odpadne toplote in kotel na obnovljive vire.

4.1.9 EINSTEIN korak 9: Ekonomsko vrednotenje in finančna analiza

Sledi ekonomska primerjava predlaganih alternativ. Rezultati so prikazani v preglednici 14. Pri trenutnih stroških energije nam vse predlagane alternative prihranijo do 60 % in približno 30 % letnih stroškov dobave energije, skupaj s stroški za vzdrževanje in obratovanje ter letno amortizacijo. V primeru prihodnjih povišanj cen energentov bi bil lahko bila optimalna rešitev tista z minimalno rabo primarne energije (500 kW).

Preglednica 13. Povzetek ekonomske analize. Amortizacija je izračunana na 15 let pri 6 % realni obrestni meri.

	Dejansko stanje	Rekuperacija + novi kotel	FPC 500 kW	ETC 500 kW	FPC 250 kW
Celotna naložba	**0**	**200 000**	**450 000**	**550 000**	**340 000**
Sofinanciranje (50 % sončna energija)	0	0	125 000	175 000	70 000
Celotna lastna naložba	**0**	**200 000**	**325 000**	**375 000**	**270 000**
Letni stroški energije	124 590	65 730	50 400	46 170	58 020
Letni stroški O&M	2 000	2 500	5 000	5 000	4 000
Amortizacija	0	20 600	33 475	38 625	27 810
Celotni letni stroški (vključno z amortizacijo)	**126 590**	**88 830**	**88 875**	**89 795**	**89 830**
Letni prihranki (%)	–	29,8	29,8	29,1	29,0

4.1.10 EINSTEIN korak 10: Poročilo in predstavitev

Rezulati so sprejemljivi. Primeren predlog za predstavitev v podjetju zniža stroške za skoraj 30 %. Samodejno izdelano poročilo izpišemo in ga predamo ga. Glažar ter se dogovorimo o datumu predstavitve razultatov energetskega pregleda.

4.2 Preverjanje doslednosti in popolnosti podatkov

V tem poglavju bomo našli primere o uporabi EINSTEIN orodja za pregled doslednosti podatkov. Z enostavnim primerom mlekarne s tremi procesi si bomo pogledali pomembne funkcije EINSTEIN orodja. Prav tako so ti primeri vključeni v EINSTEIN računalniško orodje Različica 1.0.

4.2.1 Opis modela mlekarne

4.2.1.1 Procesi

Značilni procesi v mlekarni:

- Pasterizacija (proces 1).
- Koagulacija (strjevanje) (proces 2).
- Proizvodnja mozzarelle (proces 3).

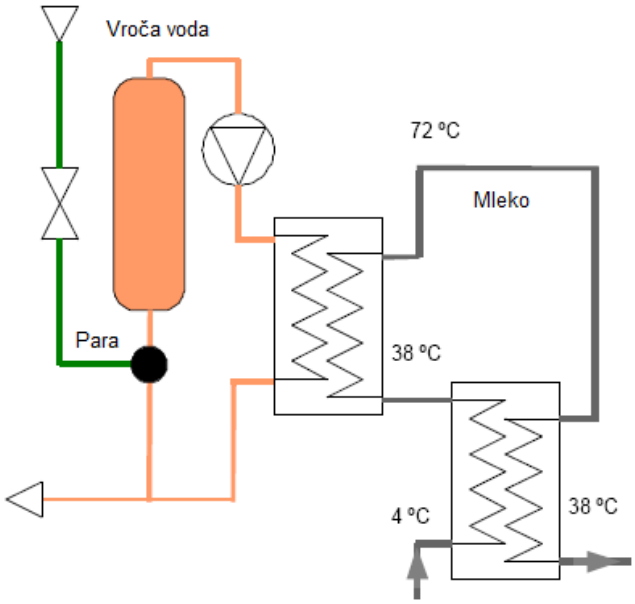
Pasterizacija je energijsko najpotratnejši proces. Mlekarna obratuje 280 dni v letu in v glavnem proizvaja dva proizvoda: običajni sir in mozzarello. Vmesni proizvodi so pasterizirano mleko, sirotka in skuta (oba sta vmesna proizvoda koagulacije).

Pasterizacija

Pasterizacija je kontroliran postopek toplotne obdelave živil odstranjevanja mikroorganizmov vseh vrst npr. patogenov, ki povzročajo kvarjenje živil ali fermentacijo mleka. Kratkotrajna pasterizacija pri srednje velikih temperaturah (HTST) poteka pri T = 72 °C do T = 75 °C in času med t = 15 s do t = 240 s. Trenutna pasterizacija pri visoki temperaturi (HHST) poteka pri T = 85 °C do T = 90 °C in času med t = 1 s do t = 25 s. Za kontinuirano pasterizacijo uporabljamo cevne in ploščne toplotne prenosnike. Vsi imajo grelne, zastojne in hladilne enote.

Odpadno toploto iz pasterizacije lahko uporabimo za notranje gretje in zunanjo dobavo toplote za gretje in hlajenje krožečega mleka. Dnevna količina mleka za pasteriziranje je 400 m^3. Proces je kontinuiran in poteka 5 h dnevno in sicer od 6^{00} do 11^{00}. Zunanji dobavni medij toplote je vroča voda.

Temperatura mleka na vtoku v prvi protitočni toplotni prenosnik je 4 °C. Na iztoku prvega toplotnega prenosnika je temperatura vročega mleka 38 °C, ki nato vteka v drugi toplotni prenosnik. V drugem toplotnem prenosniku mleko segrevamo z vročo vodo na T = 72 °C. Tok mleka pri T = 72 °C se nato v prvem toplotnem prenosniku ohladi nazaj na T = 38 °C (slika 40). Toplotne izgube pasterizatorja in zagona procesa zanemarimo.



Slika 40: Poenostavljena shema pasterizacije mleka.

Koagulacija

Koagulacija je proces v katerem ločujemo sirotko in skuto. Proces koagulacije izvajamo v primernih posodah, kjer mleku dodamo različne aditive za proizvodnjo koaguluma. Skuto lahko po ločitvi vodimo v nadaljno obdelavo. Temperatura je ključna spremenljivka, ki vpliva na proces koagulacije. Zahtevano temperaturo dosežemo bodisi s toplotnimi izmenjevalniki ali z neposrednim uvajanjem pare v posodo za koagulacijo.

Koagulacija je šaržni proces. V našem primeru vsaka šarža traja 90 minut. Na dan imamo 4 šarže. Proces poteka med 10^{00} in 16^{00} uro. Toploto za gretje rabimo na začetu vsake šarže, da segrejemo pasterizirano mleko iz začetne T = 37 °C na delovno T = 40 °C. Med procesom koagulacije potrebujemo toploto, da vzdržujemo konstantno temperaturo pri T = 40 °C.

Pri dnevni porabi mleka in po koagulaciji in predhodni pasterizaciji ter po ločevanju sirotke in skute dnevno proizvedemo 240 m^3 sirotke pri T = 37 °C.

Proizvodnja mozzarelle

Proizvodnja mozzarelle vključuje gretje in taljenje. Pasteriziranemu mleku v sirarski kadi dodamo kulturo in zmešamo z vročo vodo s temperaturo med 75 °C in 90 °C in dobimo grudasto maso. Določen delež procesne vode se absorbira v grudasto maso, s čimer dosežemo potrebno elastičnost. Zahtevano temperaturo vroče vode dosežemo v toplotnih izmenjevalnikih ali z neposrednim vbrizgavanjem pare.

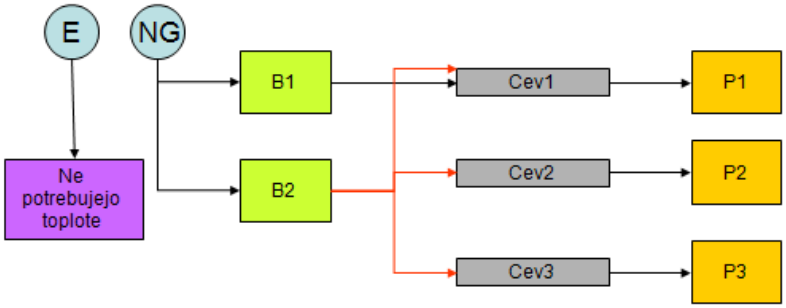
Vsaka šarža traja 1 h. Na dan imamo 4 šarže. Proizvodnja poteka med 12^{00} in 18^{00} uro. Procesno vodo moramo ogreti iz 10 °C na 90 °C. 50 % dnevne količine pasteriziranega mleko porabimo za proizvodnjo mozzarelle (iz 100 L mleka in 26 L vroče vode proizvedemo 13 kg mozzarelle; 200 m^3 pasteriziranega mleka in 50 m^3 vroče vode pri T = 90 °C). Temperatura odpadne vode je 70 °C, njen pretok je 40 m^3/dan.

4.2.1.2 Dobava in distribucija toplote

Slika 41 prikazuje dobavo in distribucijo toplote in sicer iz dveh parnih kotlov in treh neodvisnih vej distribucijskega sistema za vsakega od treh procesov.

Parni kotel B1 (nominalna moč je 3 MW) dobavlja paro za pasterizacijo (P1). Povprečni izkoristek kotla je 80 %, poraba zemeljskega plina je 377 m^3 na dan. Parni kotel B1 obratuje 6 h na dan, od 5^{00} zjutraj do 11^{00} ure dopoldan.

Parni kotel (B2) (nominalna moč je 2 MW) dobavlja paro za vse tri procese (P1: pasterizacija, P2: koagulacija in P3: proizvodnja mozzarelle). Povprečen izkoristek kotla je 88 %, srednja obremenitev je 58% in poraba zemeljskega plina je 230 m^3 na dan. Parni kotel B1 obratuje 8 h na dan, od 10^{00} zjutraj do 18^{00} ure dopoldan.



Slika 41: Shema distribucijskega sistema dobave toplote v mlekarni.

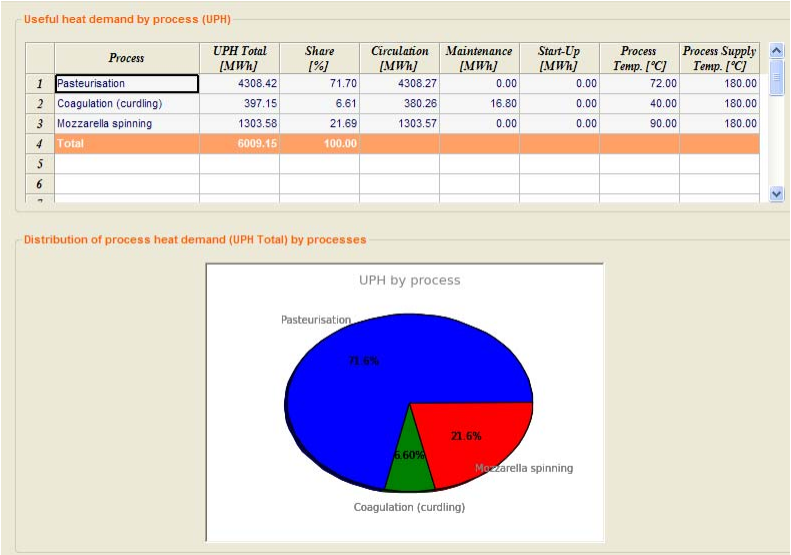
Medij dobave toplote je nizkotlačna para pti T = 140 °C. Dolžina cevi za cev 1 je 200 m na vsako smer, cevi 2 in 3 sta dolgi 300 m.

Iz računov za energijo je raba zemeljskega plina 805 000 m^3/a. Raba končne energije zemeljskega plina za toploto (npr. letna raba (LCV)) je 8 000 MW h. Cena zemeljskega plina je 30 €/MW h in celotni stroški nabave zemeljskega plina so 250 000 €/a.

Električno energijo potrebujemo za netoplotne procese. Letna raba električne energije je približno 4 000 MWh od tega porabijo 3 000 MW h za delovanje strojev in 1 000 MW h za razsvetljavo.

4.2.1.3 Osnovni primer: razdelitev rabe energije z EINSTEIN računalniškim orodjem.

Če so podatki pravilno vnešeni v računalniški program, nam program poda porazdelitev rabe energije po procesih (slika 42). Glavni energijski tokovi so prikazani na sliki 43.

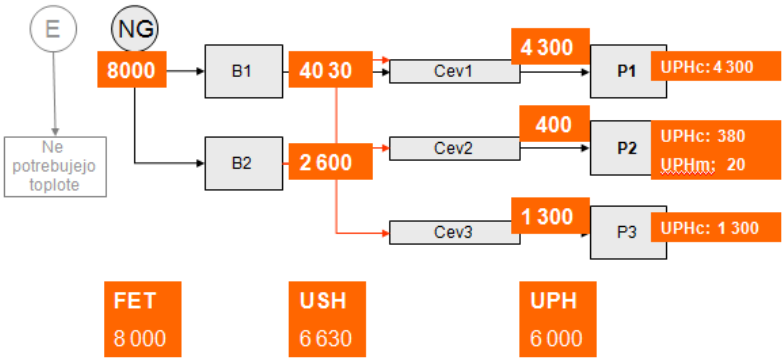


Useful heat demand by process (UPH)

	Process	UPH Total [MWh]	Share [%]	Circulation [MWh]	Maintenance [MWh]	Start-Up [MWh]	Process Temp. [°C]	Process Supply Temp. [°C]
1	Pasteurisation	4308.42	71.70	4308.27	0.00	0.00	72.00	180.00
2	Coagulation (curdling)	397.15	6.61	380.26	16.80	0.00	40.00	180.00
3	Mozzarella spinning	1303.58	21.69	1303.57	0.00	0.00	90.00	180.00
4	Total	6009.15	100.00					
5								
6								

Distribution of process heat demand (UPH Total) by processes

Slika 42: Razdelitev rabe energije med proizvodnimi procesi v mlekarni (Primer "EINSTEIN Vodnik 42 Osnovni primer").



Slika 43: Energijski tokovi (osnovni primer).

4.2.2 Odkrivanje nedoslednosti v podatkih

Kot smo že navedli v 2. poglavju je eden izmed prvih korakov pregled doslednosti podatkov. To bomo demonstrirali na dveh primerih

4.2.2.1 Nasprotujoča si podatka, ki določata isto vrednost

Primer, ko naredimo napako pri zapisu enot (npr. uporaba enote kW h namesto MW h). Celotna raba energije je 8 000 MW h. Ta podatek se ujema s podatkom, da letno porabimo 805 000 m^3 zemeljskega plina. V primeru, da uporabimo podatek 8 000 kW h, bo računalniški program napako takoj odkril in nam sporočil (slika 44).

	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	FECFuel [<>FECFuel1]	Fuel[1]	total own fuel consumption (LCV)
2	8000.00	+/- 1.00%	FECFuel;
3	8001700.00	+/- 0.00%	MFuelYear;
4			

Slika 44: Sporočilo napake v EINSTEIN računalniškem programu nedoslednosti podatkov rabe goriva (Primer "EINSTEIN Vodnik 42 1a").

4.2.2.2 Splošna nasprotja sistemskih podatkov

Nasprotujočih podatkov ni vedno lahko ugotoviti, kot je to zgoraj navedeno. Včasih so za odkrivanje napak potrebni izračuni energijskih bilanc ali ocene procesnih tokov, temperaturnih nivojev ipd.

V naslednjem primeru vnesemo v program vrednost skupne rabe goriva, ki je večja kot je vsota potrebne procesne toplote (glede na verjetne vrednosti za učinkovitost pretvorbe in distribucije – slika 45).

	parameter (values in conflict)	data group (accuracy)	description (calculated from)
1	USHj[2] [<>USH-Matrix]	USH[-]	Useful Supply Heat by equipment
2	4364810.54	+/- 2.27%	FuelConsum; ExcessAirRatio; TExhaustGas; TEnvEq; HPerYearEq; PartLoad; 1; HCGTEfficiency; FECFuel; FEOFuel
3	2367340.66	+/- 35.45%	dUAPipe; TotLengthDistPipe; DTForwLoss2; HPerYearPipe; 1; UPHProc[1][1]; QOpProc; QEvapProc; QLoss; NDays
4	USH [<>USH]	USH[-]	Useful Supply Heat for industry (total)
5	6645209.52	+/- 6.50%	FuelConsum; ExcessAirRatio; TExhaustGas; TEnvEq; HPerYearEq; PartLoad; 1; HCGTEfficiency; FECFuel; FEOFuel
6	8000969.68	+/- 2.02%	FuelConsum; ExcessAirRatio; TExhaustGas; TEnvEq; HPerDayEq; NDaysEq; PartLoad; 1; HCGTEfficiency; FECFuel

Slika 45: Sporočilo napake EINSTEIN računalniškega programa v primeru nedoslednosti podatkov v energijski bilanci – skupna dobava koristne toplote (Primer "EINSTEIN Vodnik 42 1b").

4.2.3 Popolnost podatkov z EINSTEIN-om

V osnovnem demonstracijskem primeru smo vnesli vse podatke v EINSTEIN računalniški program, kar pomeni, da lahko določimo več parametrov tudi odvečne oz. nekoristne (kar lahko vodi v nasprotujoče si podatke).

Vendar EINSTEIN ne potrebuje vseh podatkov, manjkajoče vrednosti lahko tudi izračuna. Izračunane ali ocenjene vrednosti imajo neko stopnjo zanesljivosti, kar nam prikazuje tudi okno v računalniškem programu o preverjanju doslednosti podatkov. Izračunane ali ocenjene vrednosti lahko sprejmemo ali zavržemo.

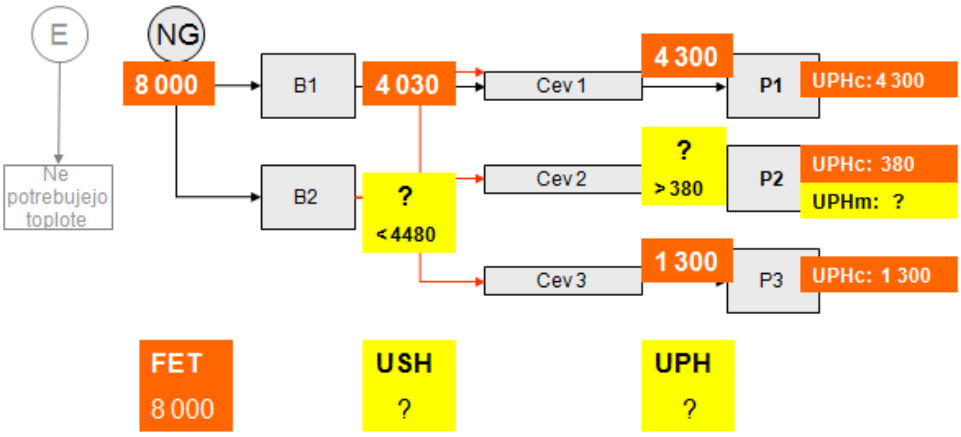
V tem poglavju se bomo naučili, kako uporabljati modul preverjanja doslednosti podatkov, da bomo lažje izvedli energetski pregled z nepopolnimi in premalo podatki.

4.2.3.1 Raba procesne toplote je poznana le za glavne proizvodne procese

Običajno je količina procesne toplote poznana samo za glavne porabnike toplote. V nadaljevanju si bomo pogledali, kako ravnati v takšnih primerih. Naš primer smo tako spremenili, da poraba energije procesa 2 ni določena:

- Raba procesne toplote (za vzdrževanje temperature v posodi) je nedoločena. Kar pomeni, da Q_{UPHm} lahko dosega visoko ali majhno vrednost.
- Vrednost obremenitve kotla B2 je nedoločena. To pomeni, da tudi dobavljena toplota ni znana. V tem primeru je skupna dobavljena toplota ocenjena glede na nominalno moč kotla in na najvišje število obratovalnih ur.

Splošno stanje je nekoliko nedoločeno: ne moremo točne rešitve problema, ker so nepoznane tudi toplotne izgube skozi cevje. EINSTEIN računalniško orodje lahko na podlagi poznane vrednosti skupne rabe energije oceni manjkajoči parameter (potrebno toploto v procesu 2). Ocenjena je na 680 MW h s ± 50 % napako zaradi neznanih toplotnih izgub cevja (slika 46).



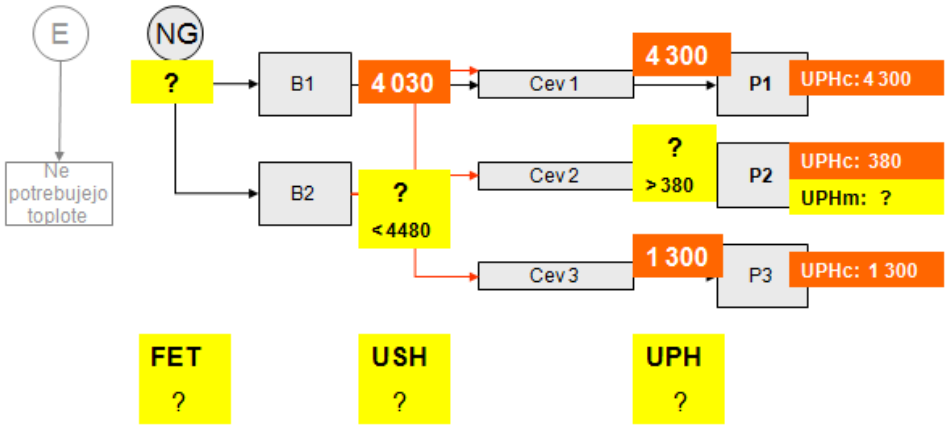
Slika 46: Začetna točka analize: raba energije nepoznana za manjše procese (Primer "EINSTEIN Vodnik 42 2a").

4.2.3.2 Neznana skupna potrebna toplota

Problem je še večji, če ne poznamo skupne potrebne toplote in potrebne toplote za proces 2. V tem primeru je problem omejen, ker je nominalna moč kotla 2 daleč najvišja.

V tem primeru imamo le grobe omejitve o potrebni toploti v procesu 2 in sicer med 2 000 MW h ± 90 %. To pomeni veliko nezanesljivost procesa 2, ker je najverjetnejša potrebna toplota med 200 MWh in 3 800 MW h.

Vendar je vrednost skupne potrebne toplote (USH) veliko nižja in sicer 8 080 MW h s ± 32 % napako. To pomeni, da tudi če za en proces ne poznamo vrednosti, je podana ocena še vedno sprejemljiva.



Slika 47: Začetna točka analize: skupna raba energije in raba energije za manjše procese sta neznani (Primer "EINSTEIN Vodnik 42 2b").

4.2.3.3 Neznani sta vrednosti celotne potrebne toplote in tehnični podatki kotlov

V primeru, da ne poznamo niti nominalne vrednosti kotla, ni možno določiti razumne omejitve za potrebno toploto v procesu 2 (Primer "EINSTEIN Vodnik 42.2c").

4.2.4 Uporaba ocenjenih vrednosti

Nekatere rezultate iz prejšnih poglavij lahko izboljšamo, če izdelamo energijske bilance na osnovi inženirskih znanj.

V našem primeru to pomeni, da:

- toplotne izgube in zahtevana moč za vzdrževanje temperature v koagulacijski posodi lahko ocenimo z uporabo koeficientov toplotnih izgub in prostornine posode.
- lahko predpostavimo, da so faktorji obremenitve kotla zoženi med 0 % in 100 %. Vendar obi ekstremni vrednosti navadno v praksi ne uporabimo.

Uporaba možnosti ocenjevanja podatkov v EINSTEIN orodju je avtomatska. Iz primera 2b lahko potrebno toploto koagulacijski proces (proces 2) določimo z sprejemljivo natančnostjo 396 MWh. Le potrebna toplota za vzdrževanje temperature je nedoločjiva zaradi neznanih toplotnih izgub posode): Φ_{UPHc} = 15 ± 100 %, kar je v primerjavi s skupnimi toplotnimi potrebami zanemarljiva (napaka Φ_{UPH} je le 5 %).

4.3 Rekuperacija odpadne toplote: Mlekarna

Kot primer uporabe modula rekuperacije odpadne toplote smo izbrali mlekarno.

Procesni podatki so preoblikovani v energijske tokove, ki so lahko hladni (moramo jih segreti, za kar potrebujemo energijo) ali topli procesni tokovi (ko jih moramo ohladiti, dobimo odvečno toploto, ki jo lahko uporabimo kot energijski vir za druge proizvodne procese).Hladne in tople tokove medsebojno parimo z ustreznimi algoritmi, da lahko načrtujemo omrežje toplotnih prenosnikov iin s tem morebitnih dodatnih prihrankov toplote.

4.3.1 Procesna shema in opis procesa

V mlekarni spadata med energijsko najintenzivnejše procese fermentacija in uparjanje sirotke za proizvodnjo mleka v prahu. Slika 48 prikazuje procesno shemo. Najprej hladno mleko pasteriziramo in skladiščimo. Za proizvodnjo sira mleko segrejemo in vodimo v ogrevani fermentator skupaj z vročo pralno vodo temperature 65 °C. Sirotko odstranimo iz fermentatorja in jo ohladimo iz T = 45 °C na temperaturo skladiščenja. Sirotko pred uparjanjem v uprajalniku segrejemo in jo nato uparimo iz 6 % suhe snovi na 60 % suhe snovi. Koncentacija sirotke iz uparjalnika ima 1/10 mase sirotke, ki vteka v uparjalnik. Vroči kondenzat pri T = 75 °C (162 m^3 na dan) in vroča voda (140 m^3 na dan) iz preostanka pare (ko zapušča kompresor) sta največja pretoka odpadne procesne toplote, če ju primerjamo s toploto, ki gre iz procesa kot vroči koncentrat sirotke. Vroči koncentrat sušimo v razpršilnih sušilnikih.

Za rekuperacijo odpadne toplote je zelo pomemeben obratovalni režim. V našem primeru je obratovalni režim sledeč:

- Fermentiranje: 10 šarž na dan, 5 dni na teden, vsaka traja 2 h.
  Segrevanje mleka: 45 min pred vsako šaržo.
  Pralna voda: 20 min med vsako šaržo.

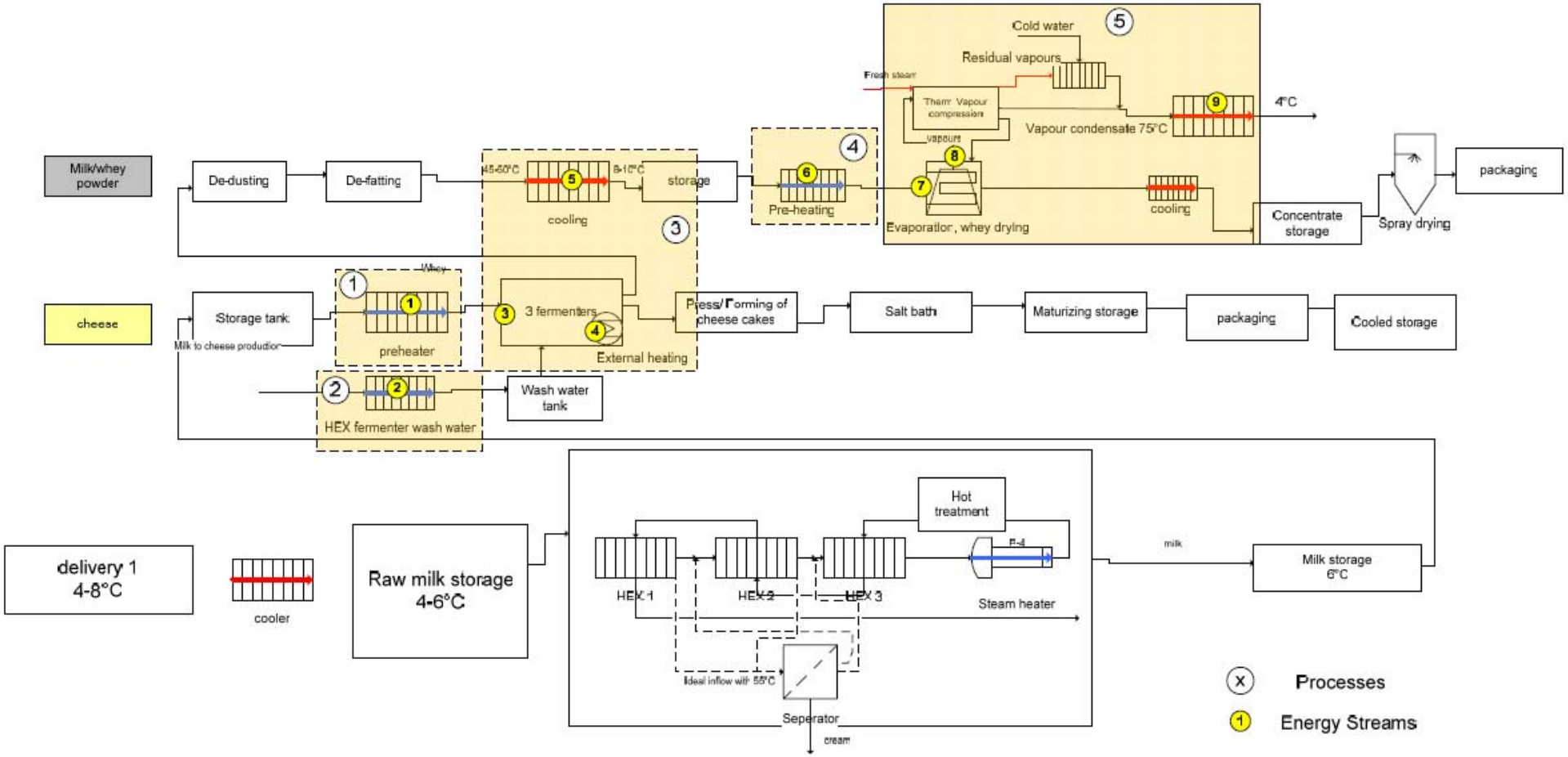
- Uparjanje: kontinuirani proces14 h na dan, 5 dni na teden

4.3.2 Vnašanje procesnih podatkov v EINSTEIN

V preglednici 14 so prikazani potrebni procesni podatki, ki jih vnesemo v EINSTEIN.

Preglednica 14. Procensi podatki fermentiranja in uparjanja.

Proces	Vrsta procesa	Vtok	Iztok odpadne toplote	Potrebna moč za proces med obratovanjem
Gretje mleka	Šaržni	Mleko, iz T = 6 °C na T = 32°C (180 m³ na dan,10 šarž po 30 minut).	Ni iztoka (vroče mleko vteka v fermentator).	Ni potrebe
Gretje pralne vode	Šaržni	Voda, iz T = 10 °C na T = 65 °C (18 m³ na dan, 10 šarž po 20 minut).	Ni iztoka (vroče mleko vteka v fermentator).	Ni potrebe
Fermentator	Šaržni	Mleko, iz T = 32 °C na T = 45 °C (180 m³na dan, 10 šarž po 48 minut).	Vroča sirotka pri T = 45 °C, ki jo ohladimo na T = 8 °C (~ 170 m³ na dan).	200 kW
Gretje sirotke	Kontinuirani	Sirotka, iz T = 8 °C na T = 80 °C (180 m³/dan).	Ni iztoka (vroča sirotka vteka v fermentator).	Ni potrebe
Uparjanje	Kontinuirani	Sirotka, iz T = 80 °C na T = 100 °C (180 m³ na dan).	Kondenzat pri T = 75 °C (400 m³ na dan).	2 400 kW



Slika 48: Procesna shema proizvodnje sira in sirotke.

4.3.3 Izračun rekuperacije odpadne toplote

V preglednici 15 je prikazan izračun energijskih tokov.

Preglednici 15. Energijska bilanca.

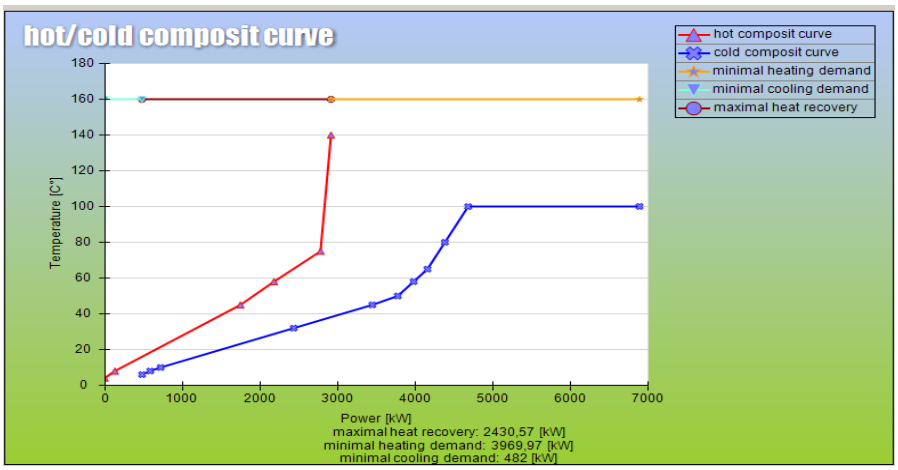
Št. toka	Ime toka	Opis toka	Začetna temepratura (°C)	Končna temperatura (°C)	Vroči/ hladni	Toplotni tok (kW)	Obratovalne ure (h/a)
1	Gretje mleka		6	32	Hladni	1 362	1 040
2	Pralna voda sira		10	65	Hladni	576	520
3	Zagon fermentatorja	Segrevanje mleka iz T = 32 °C na T = 45 °C	32	45	Hladni	681	1 040
4	Obratovanje fermentatorja	Vzdrževanje temperature na 45 °C	45	50 (vzdrževalna T je od procesne T višja za 5 °C za prenos toplote)	Hladni	200	5 200
5	Odpadna toplota iz fermentatorja	Vroča sirotka	45	8	Vroči	–388	5 200
6	Gretje sirotke		8	80	Hladni	1 077	3 640
7	Kontinuirano uparjanje sirotke	Segrevanje sirotke na T = 100 °C	80	100	Hladni	299	3 640
8	Uparjanje sirotke med obratovanjem	Uparjanje pri T = 100 °C	100	100	Hladni	2 200	3 640
9	Odpadna toplota iz uparjanja sirotke	Vroči kondenzat	75	4	Vroči	–2 355	3 640
10	Odpadna toplota iz dimnih plinov	Odpadna toplota iz dimnih plinov temperature kondenziranja	140	58	Vroči	–170	5 200

Zaradi poenostavitve odpadna toplota kondenziranja dimnih plinov ni upoštevana.

Po EINSTEIN metodologiji za optimiranje procesov je potrebno začeti z uporabo najboljših razpoložljivih tehnik (BAT) šele nato izvesti rekuperacijo odpadne toplote. V zgoraj navedenem primeru moramo najprej pretehtati možnosti znižanja rabe energije z reverzno osmozo ali vakuumskim uparjanjem. Z znižanjem potrebne energije z BAT bomo znižali tudi razpoložljivo odpadno toploto. Uporabnost novih tehnologij zavisi od procesnih parametrov in pripravljenosti podjetja za naložbe v nove tehnologije.

Sestavljena krivulja toplih in hladnih tokov prikazuje možnosti prenosa toplote med proizvodnimi procesi ter mesto toplotnega ponora in toplotnega vira.

Iz sestavljene krivulje hladnih tokov so razvidne velike količine potrebne energije za uparjanje (slika 49). Prikazano je prekrivanje med razpoložljivo odpadno toploto in hladnimi tokovi, ki jih moramo segrevati. Področje prekrivanja prikazuje teoretične možnosti prenosa toplote. Maksimum prenosa toplote, glede na ušip, je 2 400 kW. Temperatura ušipa je med 8 °C in 18 °C.



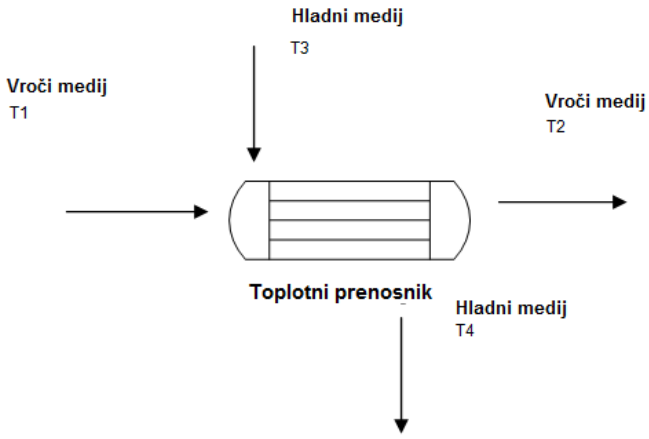
Slika 49: Sestavljena krivulja toplih in hladnih tokov (ΔT_{min} = 10 K).

4.3.4 Rezultati

Kriteriji algoritma načrtovanja možnega prenosa toplote so primerne temperature za rekuperacijo odpadne toplote, razpoložljivost in najvišji možni prihranki energije. Izračun omrežja toplotnih prenosnikov nad in pod uščipom izvedemo ločeno (preglednica 16).

Preglednica 16. Predlagani toplotni prenosniki.

Toplotni prenosnik	Moč	Topli tok	T_1 (°C)	T_2 (°C)	Hladni tok	T_3 (°C)	T_4 (°C)	Potrebna velikost hranilnika (m³)
NoviHX Št.0	230	5, odpadna toplota fermentorja	45	20	2, pralna voda sira	10	32	5,5
NoviHX Št.1	200	8, odpadna toplota uparjanja sirotke	75	69	4, fermentator med obratovanjem	45	50	28,5
NoviHX Št.2	1257	8, odpadna toplota uparjanja sirotke	69	30	1, gretje mleka	8	32	5,7
NoviHX Št.3	18	5, odpadna toplota fermentorja	20	18	6, gretje sirotke med obratovanjem	8	9	3,4
NoviHX Št.4	149	8, odpadna toplota uparjanja sirotke	30	25	6, gretje sirotke med obratovanjem	9	20	29,2
NoviHX Št.5	64	8, odpadna toplota uparjanja sirotke	19	16	1, gretje mleka	6	7	9,3
NoviHX Št.6	41	5, Odpadna toplota fermentorja	18	13,5	1, gretje mleka	7	8	



Slika 50: Shema toplotnega prenosnika.

Izračun hranilnika

Hranilnike izračunamo v EINSTEIN pol-kontinuirani simulaciji, vendar je stopnja natančnosti v veliki meri odvisna od podanega obratovalnega režima.

V prvi različici EINSTEIN od nas ne zahteva, da vnesemo podrobne podatke o obratovalnem režimu ampak samo čas obratovanja posameznih šarž in uporabo enega hranilnika za več tokov. Pri tem dobimo prvo oceno, ki jo bomo v nadaljevanju načrtovanja ponovno simulirali in strokovnjak bi moral pretehtati možnost uporabe skupnega hranilnika za več hladnih tokov.

Tolotni prenosniki

Jasno je, da moramo odpadno toploto iz faze uparjanja dobro integrirati v sistem potreb po toploti. EINSTEIN predlaga da uporabimo NoviHX Št.1, NoviHX Št.2, NoviHX Št.4, NoviHX Št.5.

V fermentatorju namesto pare za segrevanje vode uporabimo toploto T = 75 °C. Iz vidika uporabe toplote je tvegano najprej uporabiti to toploto pri T = 75 °C za gretje vode za fermentor, če jo sedaj grejemo s paro. Tehnično to izvedemo z grelno kačo v svojni steni fermentorja.

Uparjanje je kontinuirani proces, vendar je obratovalni čas (14 h na dan) nižji kot je obratovalni čas fermentacije (20 h na dan). Zato potrebujemo hranilnik tople vode.

Vroči kondenzat uporabimo za gretje mleka na T = 32 °C. Za ta šaržni proces potrebujemo veliko moči, kar pa vroči kondenzat zlahka pokriva. Hranilnik vročega kondenzata potrebujemo v času, ko nimamo razpoložljive tople vode iz procesa (v času, ko proces uparjanja ne obratuje).

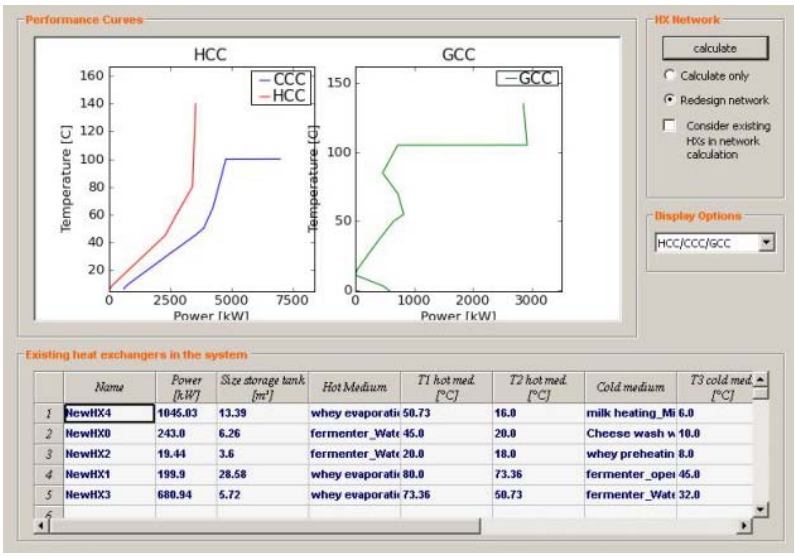
Preostanek toplote iz kondenzata nad ušipom uporabimo za gretje sirotke med uparjanjem.

Toplotni prenosnik Nr. 5 prenaša toploto v usirjanje mleka pod temperaturo uščipa.

Vroča sirotka iz fermentorja je drugi najpomembnejši tok, ki ga integriramo v omrežje toplotnih prenosnikov. Potrebno hlajenje toka ohladimo s segrevanjem pralne vode usirjenega mleka na T = 32 °C. Ker pa pralno vodo dodamo med obratovanjem fermentorja, moramo imeti na voljo hranilnik vroče sirotke. Prenos toplote je možen s gretjem pralne vode z ohlajanjem sirotke.

Toplotni prenosnik je potreben tudi za prenos toplote iz sirotke nad temperaturo uščipa v npr. pralno vodo ali za toplo vodo, ki jo rabimo v procesu.

EINSTEIN-ovi predlogi za omrežje toplotnih prenosnikov ciljajo na najvišje možne prihranke energije. Predlog moramo preveriti glede na njegovo praktičnost, tehnično izvedljivost, oddaljenost med posameznimi energijskimi tokovi, potrebni prostor namestitve omrežja in sanitarne zahteve (slika 51).



Slika 51: Rezultat EINSTEIN-ovega modula rekuperacije odpadne toplote.

Nomenklatura

Okrajšave in akronimi

BCR razmerje med koristmi in stroški (benefit cost ratio)
CF denarni tok (cash flow)
CST osrednja dobavna temperatura (central Supply Temperature)
CHP soproizvodnja električne energije in toplote(combined heat and power)
EHD ekvivalent potreb po toploti (equivalent heat demand)
EEI indeks energijske učinkovitosti (energy efficiency index)
EX neto stroški projekta (net expense of the project)
FEC celotna raba končne energije (total final energy consumption)
FET raba končne energije za toploto (ftinal energy consumption for thermal uses)
IRR interna stopnja donosnosti (internal rate of return)
LCV najnižja kurilna vrednost (lower calorific value)
NPV neto sedanja vrednost (net present value)
PBP vračilna doba (payback period)
PEC celotna raba primarne energije (total primary energy consumption)
PET raba primarne energije za toplotno energijo (primary energy consumption for thermal uses)
PSW gretje napajalne vode (preheating of Supply Water)
PT procesna temperatura (Process Temperature)
QHX rekuperacija odpadne toplote, toploni tok skozi toplotne prenosnike (recovered waste heat; heat flow over heat exchangers)
QWH razpoložljiva odpadna toplots (available waste heat)
ST dobavna temperatura (Supply Temperature)
UPH/C koristna procesna toplota/hlad (Useful Process Heat/Cold)
USH/C koristna dobavljena toplota (Useful Supply Heat/Cold)

Simboli

A *površina (*area)
c_p *specifična toplona kapaciteta (*specific heat capacity*)*
d obrestna mera podjetja (company specific discount rate)
E energija
f faktor pretvorbe (conversion factor)
h specifična entalpija
m masa
N število (npr. goriv)
Q toplota
Φ toplotni tok
q_m masni pretok
S prihranki projekta (savings of the project)
T temperatura
t čas
U globalni koeficient toplotnega prenosa
η izkoristek

Indeksi

c – kroženje, kondenzat
cs – skupna dobava
e - učinkovitost
el – električna energija
elgen - samo proizvedena električne energija
env – okolje
eq – enota opreme
ESources – energijski viri
f – končna
fuels – goriva
fw – napajalna voda

HX – rekuperacija odpadne topplote
i – vtok, prihodek, indeks za porabo energije(vrsta goriva, električna energija)
j – indeks za opremo
L – latentna toplota (za uparjanje (+), za kondenziranje (-), endotermne ali eksotermne kemične reakcije)
o – iztok, odhodek
op – obratovanje
p – proces
pi – procesni tok
pir –procesni tok po rekuperaciji odpadne toplote
po – iztok procesa
por – iztok procesa po rekuperaciji odpadne toplote
pt – cilj porcesa
PE – primarna energija
PS – dobava procesu
m – vzdrževanje (maintenance)
min – minimum
ref – referenca
ret – vračanje
s - zagon
tch – absorpcijski hladilnik
w – odpadek