SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

Co-funded by the European Union

3. modul
Hőtermelés

A SHaKE távfűtési és -hűtési rendszerekről szóló oktatási csomag része

GYAKORLATI FELADAT ÉS ESETTANULMÁNYOK

Mérnöki gyakorlat oktatáshoz és gyakorlatias ismeretszerzéshez

Fejlesztő intézmény: UJI és BME
Erasmus+ KA220-HED Felsőoktatási Együttműködési Partnerségek Verzió: 1.1
Dátum: 2026. május

https://www.shakeproject-dhc.eu/

Először a gyakorlatokat mutatjuk be, majd a fejezet végén a megfelelő megoldásokat. Csak azokat a problémákat oldjuk meg, amelyek kvantitatív vagy analitikus választ igényelnek.

1. szakasz. Hulladékhő -hasznosítás és hőszivattyúk

Minden gyakorlat kötelező

1. feladat. Értékelje távhőellátásba való integrálhatóság szempontjából a következő hulladékhő-forrásokat hőmérsékleti szint és rendelkezésre állás szerint:

a) Cementégető kemencéből származó 550 °C-os füstgáz

b) Ipari hűtőberendezésből származó hűtővíz 35 °C-on

c) Adatközpontból kilépő hűtési levegő 60 °C-on

d) Kazánfüstgázok 200 °C-on

Jelölje meg mindegyikhez a megfelelő visszanyerési technológiát.

2. gyakorlat. Hőcserélő kiválasztása

Adott egy 4000 kg/h teljesítményű, 180 °C-os forró levegőt szállító ipari folyamat. Tervezzen egy megfelelő levegő-levegő hőcserélőt a bejövő levegő 20 °C-ról 120 °C-ra történő előmelegítésére. Tegyük fel, hogy a levegő fajhője 1,005 kJ/ kg·K, a hatásfok pedig 85%.

Számítás:

a) Szükséges hőáram ($\dot{Q}$)

b) Bemeneti és kimeneti hőmérsékletek

c) Ajánlott hőcserélő típusa és indoklása

3. feladat. Hőszivattyú COP-számítása

Egy hőszivattyú 35 °C-os hőmérsékletű hulladékhő-forrásból vonja ki a hőt, és 65 °C-os folyamathoz adja le a hőt. Feltételezzük az ideális Carnot-körfolyamatot.

Számítás:

a) Carnot COP fűtésre

b) Ha a tényleges COP a Carnot-érték 60%-a, akkor mennyi a tényleges COP?

c) Mekkora villamos energia szükséges 20 kW fűtési teljesítmény biztosításához?

4. feladat: Rankine-ciklus hatásfoka

A gőzös Rankine-ciklust 450 °C-on alkalmazzák a füstgázokból származó hulladékhő visszanyerésére. A gőz 40 bar nyomáson és 400 °C-on lép be a turbinába, és 0,1 bar nyomáson kondenzálódik.

Számítás:

a) A ciklus termikus hatásfoka (ideális Rankine-ciklus)

b) Hasonlítsa össze egy olyan rendszerrel, amely ORC-t használ, 150 °C-os alacsonyabb forráshőmérséklettel.

c) Magyarázza el, mikor előnyösebb az ORC.

5. feladat. Hőszivattyú integráció

Tervezzen egy csatlakozási sémát (rajzolja le és írja le) egy hőszivattyú és egy ipari hulladékhőforrás integrálására indirekt konfigurációban, hőtárolóvel. Magyarázza el:

a) A kialakítás előnyeit

b) Változó hőellátás és -igény szabályozási stratégiáját

2. szakasz. Kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés (CHP)

1. feladat. CHP hatásfokának kiszámítása

Egy kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő egység 500 kW villamos energiát és 800 kW hőenergiát termel. A tüzelőanyag-bevitel 1750 kW.

Számítás:

a) Elektromos hatásfok

b) Termikus hatásfok

c) Összesített hatásfok

d) Hő-villamosenergia arány (C/E)

2. feladat. Terhelési tényező és üzemórák

Egy kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő rendszer beépített kapacitása 1,2 MW villamos teljesítmény, és évi 6800 órát üzemel.

Számítás:

a) Éves villamosenergia-termelés

b) Terhelési tényező

c) Hasonlítsa össze a teljesítményt egy hasonló, évi 4000 órát működő üzemével.

3. feladat. CHP-rendszer méretezése

Feladata egy kórház CHP-rendszerének méretezése, amely 800 kW hő- és 400 kW elektromos alapterhelést igényel.

Számítás:

a) A kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő egység ajánlott mérete

b) A felső (előtétturbinás) vagy alsó (utótét) ciklus

c) Javasoljon tartalék rendszereket a téli csúcsidőszaki hőigény esetére

4. feladat. Termodinamikai ciklusanalízis

Rajzoljon egy gázturbinával működő fejciklusú CHP egyszerűsített vázlatát. Címke:

a) Elsődleges mozgató

b) Hővisszanyerő gőzfejlesztő (HRSG)

c) Generátor

d) Hőcserélő a távhőhöz

e) Becsülje meg a maximális elméleti hatásfokot a következő feltételezéssel:

Turbina hatásfoka = 38%

HRSG hővisszanyerési hatékonyság = 45%

5. feladat. Integráció a távfűtési és hűtési rendszerbe

Tekintettel egy olyan távfűtési hálózatra, amely egy 4 MW csúcshőigényű és 2,5 MW átlagos hőigényű körzetet szolgál ki, tervezzen egy kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésen (CHP) alapuló megoldást:

a) Döntsön a megfelelő kapacitásról

b) Határozza meg, hogy bele kell-e foglalni a hőtárolást

c) Vázolja fel a távfűtéssel és -hűtéssel való integrációt, és írja le a részleges terheléses működés szabályozási stratégiáit.

3. szakasz. Gazdasági és környezeti szempontok

1. feladat. LCOH számítás

Számítsa ki a hőtermelés szintbe állított költségét (LCOH) egy olyan rendszerre, ahol:

1. Kezdeti befektetés: 400 000 euró
2. Éves üzemeltetési és karbantartási költség: 15 000 euró
3. Üzemanyagköltség évente: 20 000 euró
4. Éves hőtermelés: 1500 MWh
5. Élettartam: 20 év
6. Infláció mértéke: 5%

Használja a modulban található képletet, és fejezd ki az eredményt €/MWh-ban.

2. feladat. Üvegházhatású gázok kibocsátásának összehasonlítása

Hasonlítsa össze a következők CO_2-kibocsátását:

a) Évente 1000 MWh hőt és 600 MWh villamos energiát termelő földgázüzemű kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő rendszer (földgáz-kibocsátási tényező: 0,202 kg CO_2/kWh)

b) Hálózatról táplált hőszivattyús rendszer (COP = 3,5) (hálózati emissziós tényező: 0,110 kg CO_2/kWh)

Számítás:

1. Teljes CO_2-kibocsátás mindkét rendszer esetében

2. Melyik rendszer környezetbarátabb?

3. feladat. Megtérülési idő

Egy új hőszivattyú telepítése évi 25 000 eurót takarít meg a korábbi gázkazánhoz képest. A teljes beruházás 135 000 euró.

Számítás:

a) Egyszerű megtérülési idő

b) Megtérülés, ha az éves karbantartási költségek 2000 eurót tesznek ki

4. feladat. Életciklus-hatásértékelés

Hasonlítsa össze a következő rendszerek életciklusra vonatkozó környezeti hatását (minőségileg):

a) Földgázzal működő kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő

b) Talajszondás hőszivattyú

c) Biomassza kazán

Használjon olyan kritériumokat, mint:

1. Üvegházhatású gázok kibocsátása
2. Légszennyező anyagok
3. Vízfogyasztás
4. Karbantartási és üzemeltetési hatások

5. feladat. Szabályozási forgatókönyv elemzése

Tegyük fel, hogy a szén-dioxid-adó tonnánként 40 euróról 100 euróra emelkedik. Elemezze a hatást a következőkre:

a) Földgázzal működő kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő rendszerek

b) Elektromos hőszivattyúk (COP = 4,0)

Tegyük fel, hogy a jelenlegi villamosenergia-kibocsátás szén-dioxid-intenzitása 100 g CO_2/kWh, a gázé pedig 202 g CO_2/kWh.

Fejtse ki, hogy ez hogyan befolyásolja az egyes rendszerek gazdasági versenyképességét.

Esettanulmányok

Csak egy Ön által választott részt válasszon ki a feladat elvégzéséhez (egy esettanulmány kitöltése kötelező)

1. Hulladékhő hasznosítása és hőszivattyúk

Esettanulmány címe: Szingapúr – Ang Mo Kio Industrial District Cooling

Klíma: Trópusi-párás

Projekt referencia: SP Group és STMicroelectronics, Ang Mo Kio TechnoPark

1. Rendszeráttekintés: Kutatás az STMicroelectronics TechnoParkjában található (2025-től üzembe helyezendő) távhűtési rendszerről és annak ipari és kereskedelmi terhelésekkel való integrációjáról.
2. Üzemmódok: Írja le, hogyan használják a központi hűtőberendezéseket, és hogyan oszlanak el a hűtési terhelések az épületek között.
3. Hatékonysági elemzés: Számítsa ki az éves villamosenergia-megtakarítást (~20%) és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentését (~120 000 tonna CO_2/év).
4. Ipari integráció: Vizsgálja meg, hogyan lehet a felszabaduló tetőterületeket újrahasznosítani (pl. napelemek, PFC-kibocsátás csökkentése).
5. Éghajlati tényezők: Ismertesse a trópusi páratartalom hatását a rendszer méretezésére, működésére és hőelvezetésére.

Beadandó feladatok:

4–6 oldalas jelentés terhelési profil elemzéssel, költség-haszon összefoglalóval és vázlatos rajzzal.

2. Kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés (CHP)

Esettanulmány címe: Rijád, Szaúd-Arábia – Napenergiával működő abszorpciós hűtési kísérleti projekt

Klíma: Forró-száraz

Projekt referencia: 10 MW-os LiBr napelemes abszorpciós hűtőberendezés szimulációja Rijád számára vákuumos napkollektorokkal

Kijelölés:

1. Terv leírása: Részletesen ismertesse az architektúrát: napkollektoros rendszer, melegvíz-tároló, LiBr /H_2O abszorpciós hűtő, hűtöttvíz-hálózat.
2. Hőteljesítmény: Szimulálja vagy számítsa ki a napenergia-hányadot (~86%), a rendszer hűtési teljesítményét a nyári csúcsidőszakokban.
3. COP és összehasonlítás: Hasonlítsa össze az abszorpciós COP-t az elektromos hűtőberendezésekkel; ismertesse az előnyöket hálózaton kívüli vagy hálózatterheléses esetekben.

4. Víz- és földhasználat: A vízfogyasztás és a földlábnyom felmérése száraz környezetben.

5. Rugalmassági stratégiák: Értékelje a hőenergia-tároló vagy passzív hűtési elemek beépítését.

Beadandó feladatok:

Részletes műszaki jelentés, amely tartalmazza a P - T diagramot, a rendszer méretezési paramétereit és a napfény-energia egyensúlyt.

3. A hőtermelő távfűtési hálózatok gazdasági és környezeti vonatkozásai

Esettanulmány címe: Baleár-szigetek, Spanyolország – Napenergiával kiegészített távhűtés

Klíma: Mediterrán

Projekthivatkozás: Moia - Pol és munkatársai esettanulmánya a napkollektoros és a biomassza távfűtési rendszerek integrálásáról

1. Rendszer kontextusa: Írjon le egy hibrid távfűtő és -hűtő (DHC) erőművet, amely napkollektoros energiát, biomassza kazánt, abszorpciós hűtőt és hűtöttvíz-rácsot használ.

2. Üzemmódok: Magyarázza el, hogyan működteti a napenergia abszorpciós hűtőberendezést a kiemelt időszakokban, és hogyan fedik le az elektromos hűtőberendezések a nyári csúcsterheléseket.

3. Energia és kibocsátások: Becsülje meg a napenergia-hányadot, az üzemanyag-megtakarítást és a CO_2-csökkentést a jelentett értékek vagy az egyszerűsített tömeg-energia mérlegek segítségével.

4. Szezonális elemzés: Az évszakok közötti teljesítmény elemzése – téli fűtés vs. nyári hűtés.

5. Kiegészítő technológia: Javasoljon alacsony energiaigényű intézkedéseket (pl. dinamikus árnyékolás, hőtárolás), amelyek alkalmasak a Baleár-szigetek éghajlati viszonyaira.

Beadandó feladatok:

Műszaki jelentés szezonális teljesítménygrafikonokkal, COP trendekkel, sematikus integrációval és szén-dioxid-mérleg becsléssel.

Javasolt megoldások gyakorlatokhoz

1. szakasz. Hulladékhő -hasznosítás és hőszivattyúk

1. feladat.

a) Magas, (ipari folyamat), Rankine-ciklus

b) Alacsony (közműberendezések), vizes hőszivattyú

c) Alacsony (IT infrastruktúra), Vizes hőszivattyú

d) (égetőmű), Economizer

2. feladat.

a) 111,66 kW

b) 20 °C és 120 °C

c) Javaslat: Lemezes-bordás levegő-levegő hőcserélő vagy ellenáramú csőköteges egység bordázott csövekkel.

Indoklás: A levegő hővezető képessége és térfogategységre eső hőkapacitása nagyon alacsony. A lamellák szükségesek a felület növeléséhez és a gáz-gáz alkalmazások alacsony konvektív hőátadási együtthatójának fokozásához. Az ellenáramú kialakítás biztosítja a magas hatékonyságot ($\epsilon = 0,85$).

3. feladat.

a) 11.27

b) 6,76

c) 2,96 kW

4. feladat.

a) 35,3%

b) Egy alacsonyabb, 150°C-os forráshőmérséklettel működő ORC szerves munkaközegeket (pl. hűtőközegeket vagy szénhidrogéneket) használ, amelyek forráspontja alacsonyabb, mint a vízé. Termikus hatásfoka alacsonyabb, jellemzően 10–15% körüli.

c) Az ORC-t előnyben részesítik a standard gőzciklusokkal szemben, ha a hulladékhőforrás hőmérséklete alacsony vagy közepes (<200 °C), mivel a víz vákuumot igényelne, vagy rendkívül alacsony sűrűségű gőzt termelne, ami hatalmas, gazdaságtalan berendezéseket igényelne. Az ORC-rendszerek alacsonyabb nyomáson is biztonságosan működnek, és elkerülik a nedvességcseppek okozta turbinalapát-eróziót.

5. feladat.

a) Szétválasztás: Szétválasztja a hulladékhő rendelkezésre állását a hőszivattyú üzemidejétől.

Csúcshőmérséklet-csökkentés: A tárolótartály hőpufferként működik, csillapítja az ipari folyamatokból eredő hőmérséklet-csúcsokat vagy tömegáram-ingadozásokat, biztosítva a hőszivattyú stabil működését.

Komponensméretezés: Lehetővé teszi a hőszivattyú kompresszorának méretének csökkentését, mivel az átlagos terhelésen folyamatosan működhet, ahelyett, hogy az átmeneti csúcshőmérsékleti csúcsokat követné.

b) A szivattyúkörökön található változtatható frekvenciájú hajtás (VFD) a puffertartály hőmérsékleti profilja alapján szabályozza a folyadékáramlást. Ha az ipari hulladékellátás csökken, a hőszivattyú csökkenti a kapacitását, vagy lemeríti a tartályban tárolt energiát. Ha a tárolótartály hőmérséklete eléri a kritikus minimum küszöbértéket, egy bypass vagy egy kiegészítő tartalék hőforrás kapcsol be.

2. szakasz. Kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés (CHP)

1. feladat.

a) 28,57%

b) 45,71%

c) 74,28%

d) 1.6

2. feladat. Terhelési tényező és üzemórák

a) 8169 MWh/év

b) 77,62%

c) Terheltségi tényező 45,66% vs. 77,62%. A 6800 órás erőmű magas fix tőkeköltségeit közel kétszeres energiatermelésre osztja el, ami sokkal gyorsabb megtérülést (ROI) és jobb gazdasági életképességet eredményez.

3. feladat.

a) 600 kWe / 800 kWth

c) Fej

d) Egy földgázzal működő csúcsterheléses kazán, amelyhez egy intelligens hőtároló víztartály kapcsolódik a csúcsidőn kívüli hőfelesleg összegyűjtésére.

4. feladat.

65,9%

5. feladat. Integráció a távfűtés és -hűtésbe

A rendszer kapacitása a 2,5 MWth átlagos hőigényhez igazodik. Ez magas kapacitáskihasználást és folyamatos üzemidőt garantál, a fennmaradó 1,5 MW-os csúcsot pedig gázkazánokkal kell fedezni.

b) Igen, a hőtárolást is bele kell foglalni. Ez lehetővé teszi a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelő erőmű számára, hogy alacsony hőigény esetén teljes terhelésen működjön (a felesleges melegvíz tárolásával), ahelyett, hogy nem hatékony részterheléses működésre kapcsolna.

c) Integráció: A kapcsolt hőtermelőt soros/párhuzamos konfigurációban kell bekötni elsődleges alapterhelési forrásként a távfűtéses ellátórendszer visszatérő vezetékébe, a csúcsidőszaki kazánokat pedig az előremenő vezetékbe, lefelé kell elhelyezni.

Szabályozási stratégiák: Kisebb terheléskiesések esetén használjon hőtárolós töltést. Ha a kereslet a motor minimális modulációs lépése alá esik (jellemzően a névleges kapacitás 50%-a), váltson szakaszos be-/kikapcsolásra, vagy teljesen térjen át hőtárolós kisütési üzemmódra.

3. szakasz. Gazdasági és környezeti szempontok

1. feladat.

44,73 €/MWh

2. feladat. Üvegházhatású gázok kibocsátásának összehasonlítása

404 000 kg CO_2 , 31 428 kg CO_2 , Hőszivattyú

3. feladat. Megtérülési idő

5,4 év

17,04%

4. feladat. Életciklus-hatásértékelés

Technológia	ÜHG-kibocsátás	Légszennyező anyagok (NOx, SOx , PM)	Vízfogyasztás	Karbantartási és működési kockázatok
a) Gázzal kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés	Közepesen magas (fosszilis alapú, helyi CO_2).	Közepes helyi kibocsátás (NOx).	Minimális.	Rendszeres mechanikus motorfelújítás szükséges.
b) GSHP	Alacsony (a tiszta rácskeveréktől függ).	Felhasználáskor nincs.	Elhanyagolható (zárt hurok).	Alacsony karbantartási igény, hűtőközeg-szivárgás veszélye.
c) Biomassza kazán	Szénsemleges (biogén), de magas logisztikai kibocsátással jár.	Magas helyi részecske- (PM) és NOx-kibocsátás.	Minimális.	Magas; hamukezelés, üzemanyag-tárolás kezelése szükséges.

5. feladat. Szabályozási forgatókönyv elemzése

a) Több mint 12 €/MWh-val növeli az üzemeltetési üzemanyagköltséget

b) Több mint 1,5 €/MWh-val növeli az üzemeltetési üzemanyagköltséget

A szén-dioxid-adó eszkalációja a pénzügyi helyzetet az elektromos hőszivattyúk javára módosítja. A földgáztüzelésre kiszabott büntetés nyolcszor nagyobb a leadott hőegységenként

a hőszivattyúhoz képest, ami felgyorsítja a fosszilis tüzelőanyaggal működő kapcsolt hő- és villamosenergia-hálózatok javára a CHP-egységek fokozatos kivezetését.