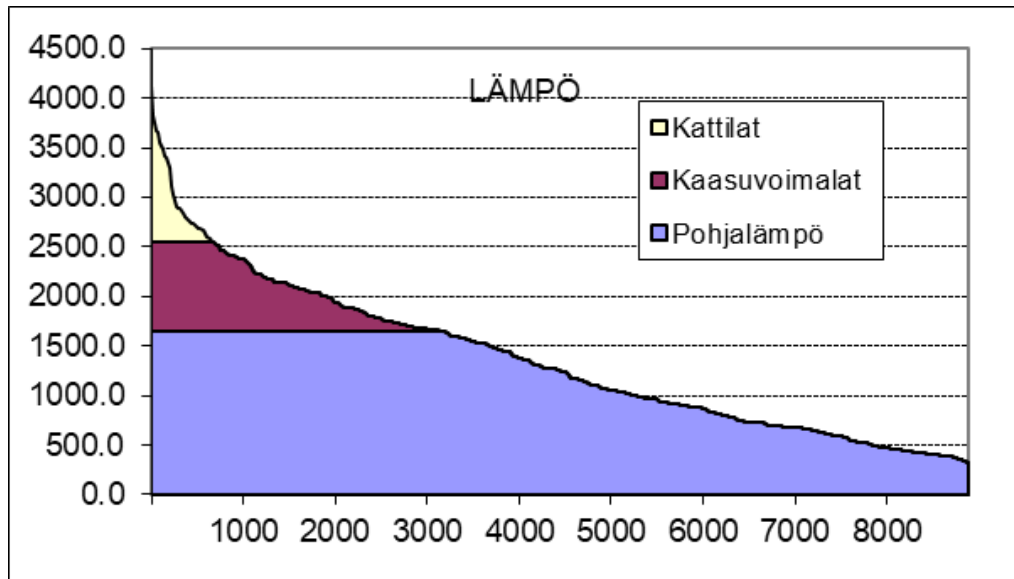


LOVIISAN YDINKAUKOLÄMMÖN KANNATTAVUUSSELVITYS 1/2019



EKOENERGO OY

Espoo

Tammikuu 2019

LOVIISAN YDINKAUKOLÄMMÖN KANNATTAVUUSSELVITYS 1/2019

Esipuhe

Loviisan ydinvoimala voidaan muuttaa tuottamaan ydinkaukolämpöä asentamalla siihen viides turpiini, joka toimisi nykyisten lauhdeturpiinien rinnalla pelkästään kaukolämmön tuotannossa. Turpiini voidaan suunnitella siten, että sen vastapaine on joko 3 baria tai 5 baria. Suuremmalla vastapaineella kaukolämpöä saadaan enemmän ja korkeammassa lämpötilassa.

Viidennelle turpiinille on louhittu valmis paikka turpiinihallin viereen tai se voidaan asentaa nykyiseen turpiinihalliin. Turpiinihallin laajennus ja viides turpiini olisi mahdollista rakentaa noin neljässä vuodessa.

Ydinkaukolämpö olisi hyvä mahdollisuus vähentää Pääkaupunkiseudun kaukolämmön CO₂-päästöjä. Sen avulla kaukolämmön CO₂-päästöt pienenisivät nykyisestä 3,6 miljoonasta tonnista noin miljoonaan tonniin CO₂. Samalla olisi mahdollista viedä ydinkaukolämpöä myös Porvoon jalostamolle, jonka päästöjä voitaisiin myös pienentää merkittävästi.

Ydinkaukolämmön avulla kaukolämmön kilpailukyky paranisi myös merkittävästi. Kaukolämmön tuotantokustannukset laskisivat nykyisestä noin 58 €/MWh arvoon 40 €/MWh eli 40 %.

Espoossa 7.1.2019

Asko Vuorinen

Ekoenergo Oy

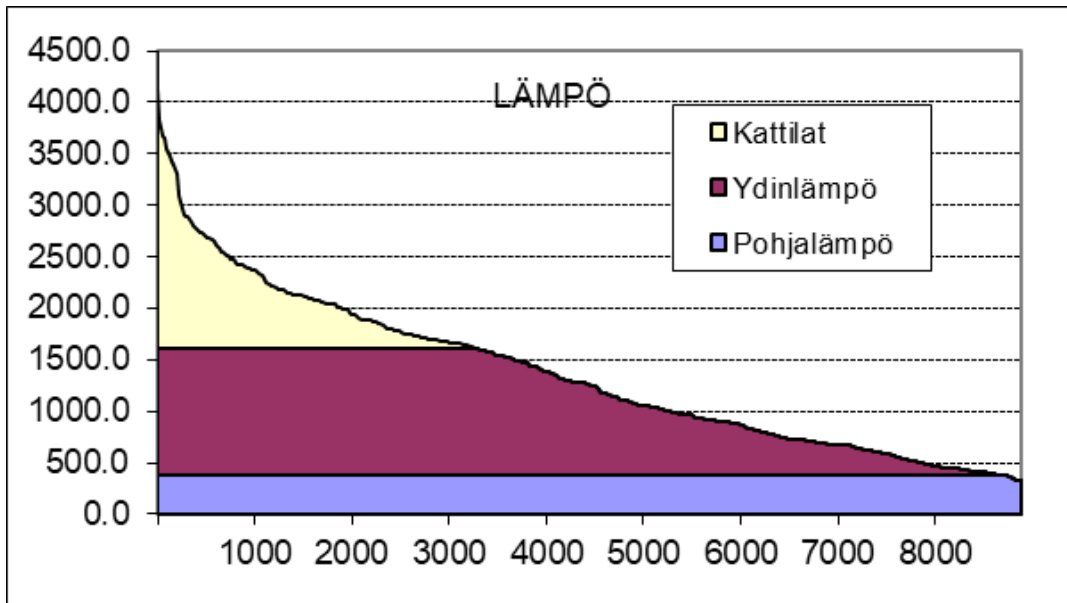
1. Vastapaine 3 bar (menovesi 115 °C)

Lämpötaseen mukaan 3 barin vastapaineella (menovesi on 115 °C) sähköä saadaan nettona myyntiin 182 MW ja kaukolämpöä 1235 MW (Taulu 1.1, Liite 1).

Taulu 1.1 Lämpötase 3 barin vastapaineella (Menovesi 115 °C).

| Lämpötase | Sähköä | Lämpöä | Yhteensä |
|--------------|--------|--------|----------|
| Generaattori | 252 | 1235 | 1487 |
| Omakäyttö | -20 | -50 | -70 |
| KL-pumput | -50 | 50 | 0 |
| Netto | 182 | 1235 | 1417 |
| Hyötysuhde | 12% | 82% | 94% |

Kun ydinlämpö (1235 MW) viedään Pääkaupunkiseudun kaukolämpöverkkoon, lämpöä voidaan tuottaa 6820 GWh Loviisan ydinkaukolämmöllä (Kuva 1.1). Pohjalla ovat lämpöpumput (225 MW) ja Vantaan jätevoimala (147 MW), joista lämpöä saadaan yhteensä 372 MW eli 3255 GWh.



Kuva 1.1. Pysyvyyskäyrä, ydinlämpöteho 1235 MW (6280 GWh), pohjalämpö 372 MW.

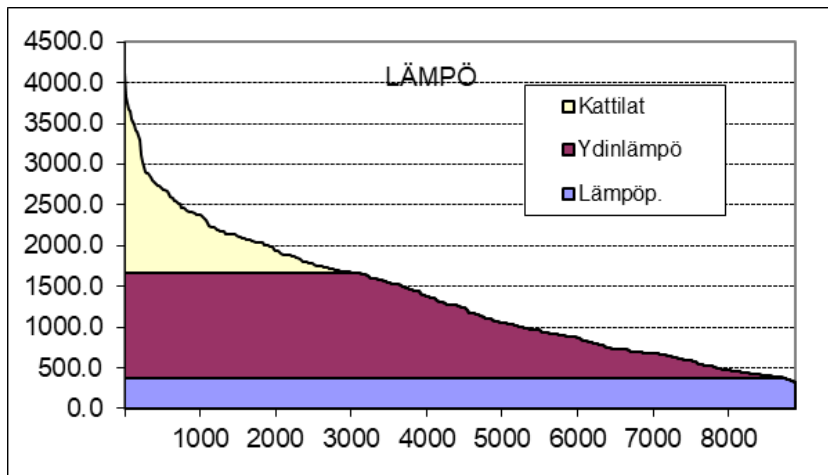
2. Vastapaineturpiini 6 bar (menovesi 140 °C)

Kun siirrytään 6 barin vastapaineeseen, sähköä saadaan 144 MW ja kaukolämpöä 1280 MW (Taulu 2.1, Liite 2).

Taulu 2.1 Lämpötase 6 barin vastapaineella.

| Lämpötase | Sähköä | Lämpöä | Yhteensä |
|--------------|--------|--------|----------|
| Generaattori | 202 | 1290 | 1492 |
| Omakäyttö | -20 | -50 | -70 |
| KL-pumput | -38 | 38 | 0 |
| Netto | 144 | 1278 | 1422 |
| Hyötysuhde | 10% | 85% | 95% |

Pysyvyyskäyrän mukaan ydinkaukolämpöä saadaan 1280 MW teholla 6990 GWh (Kuva 2.1).



Kuva 2.1. Pysyvyyskäyrä (vastapaine 6 bar, ydinlämpöteho 1280 MW, 6990 GWh).

3. Kustannukset ja kannattavuus

Lämmön hinnaksi saadaan Helsinkiin tuotuna 33 €/MWh, jos turpiinin vastapainen on 3 baria (Taulu 3.1). Isommalla 6 barin vastapaineella lämmön hinta on 32 €/MWh, jolloin lämpöä voidaan tuottaa enemmän ja se korvaa enemmän kallista lämpökeskuslämpöä.

Vaihtoehtojen kannattavuus voidaan arvioida laskemalla investointien takaisinmaksuajat, joiksi on saatu 3 barin paineella (115 °C) 7,7 vuotta ja 6 barin paineella (140 °C) 6,4 vuotta (Taulu 3.2). Tästä kannattavuus voi parantua, jos lämpöä myydään myös Porvoon jalostamolle.

Taulu 3.1 Kustannukset.

| Ydin/hiililämpö | | Nykytilanne Hiililämpö | Ydinlämpö 3 bar | Ydinlämpö 6 bar |
|---------------------------|----------------|---------------------------|--------------------|--------------------|
| Sähköteho | | | 182 | 144 |
| Lämpöteho | MW | 1036 | 1240 | 1280 |
| Lämmöntuotanto | GWh | 6105 | 6820 | 6965 |
| Sähkön menetyt | MW | | 292 | 336 |
| | MWe/MWt | | 23.5% | 26.3% |
| | GWh | | 1606 | 1828 |
| Polttoaineen tarve | GWh | 7182 | | |
| Turpiini | M€ | | 252 | 202 |
| Rakennukset | M€ | | 100 | 100 |
| Tunneli | M€ | | 320 | 320 |
| Putket | M€ | | 450 | 340 |
| Pumput | M€ | | 50 | 38 |
| Investointi | M€ | | 1172 | 1000 |
| Pitoaika | a | | 15 | 15 |
| Laskentakorko | % | | 5% | 5% |
| Annuiteetti | % | | 9.6% | 9.6% |
| Pääomakulut | M€/a | | 112.9 | 96.3 |
| CO2-oikeudet | €/t | 25.0 | 25.0 | 25.0 |
| | M€/a | 61.1 | | |
| Energiakulut | €/MWh | 40.0 | 50.0 | 50.0 |
| | M€/a | 287.3 | 80.3 | 91.4 |
| Käyttökulut | €/MWh | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| | M€/a | 30.5 | 34.1 | 34.8 |
| Kulut yhteensä | M€/a | 378.9 | 227.3 | 222.6 |
| Kustannussäästö | M€/a | | 151.6 | 156.3 |
| Tuotanto | GWh | 6105.0 | 6820.0 | 6965.0 |
| Lämmön hinta | €/MWh | 62.1 | 33.3 | 32.0 |

Taulu 3.2 Ydinkaukolämmön takaisinmaksuajat.

| Kannattavuus | Nykytilanne Hiililämö | Ydinlämpö 3 bar | Ydinlämpö 6 bar |
|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| Investointi | | 1172.0 | 999.8 |
| Kustannussäästö | | 151.6 | 156.3 |
| Takaisinmaksuaika | | 7.7 | 6.4 |

CO₂-päästöt ovat nykytilanteessa 2442 ktCO₂, mutta ydinkaukolämmön tapauksessa päästöt ovat 80 - 90 ktCO₂ (Taulu 3.3).

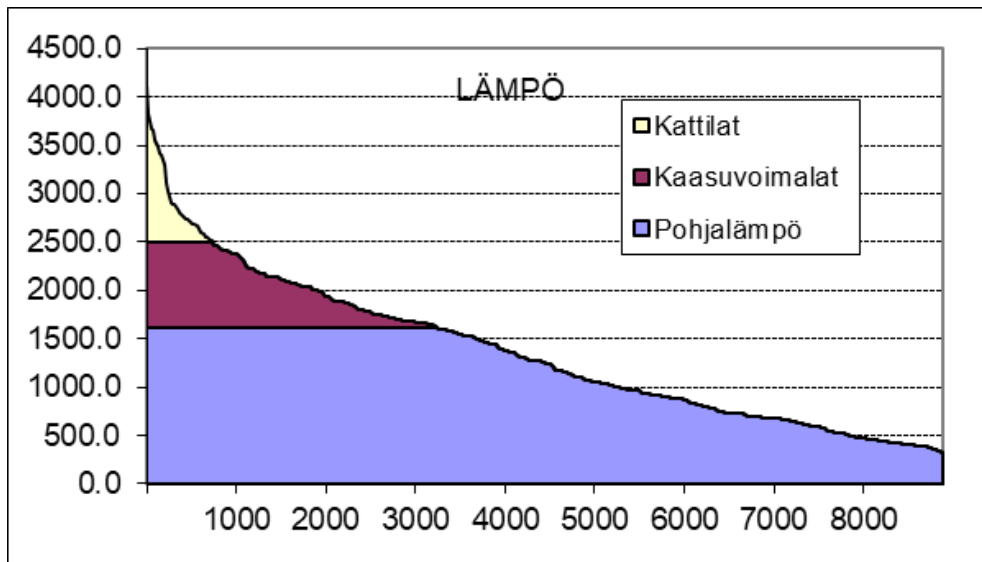
Taulu 3.3 CO₂-päästöt.

| Lämmöntuotannon CO ₂ -päästöt | | Nykytilanne | Ydinlämpö | Ydinlämpö |
|--|--------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Hiililämpö | 3 bar | 6 bar |
| Pohjalämpö | kt | 565 | 565 | 565 |
| Keskilämpö | kt | 2442 | 80 | 91 |
| Kaasuvoimalat | kt | 466 | 344 | 322 |
| Lämpökeskukset | kt | 121 | 83 | 73 |
| Yhteensä | kt | 3594 | 1073 | 1052 |
| Ominaispäästö | g/kWh | 299 | 89 | 88 |
| Vertailu nykytilanteeseen | | 100% | 30% | 29% |

4. PKS:n lämmöntuotantojärjestelmä

4.1 Tuotanto

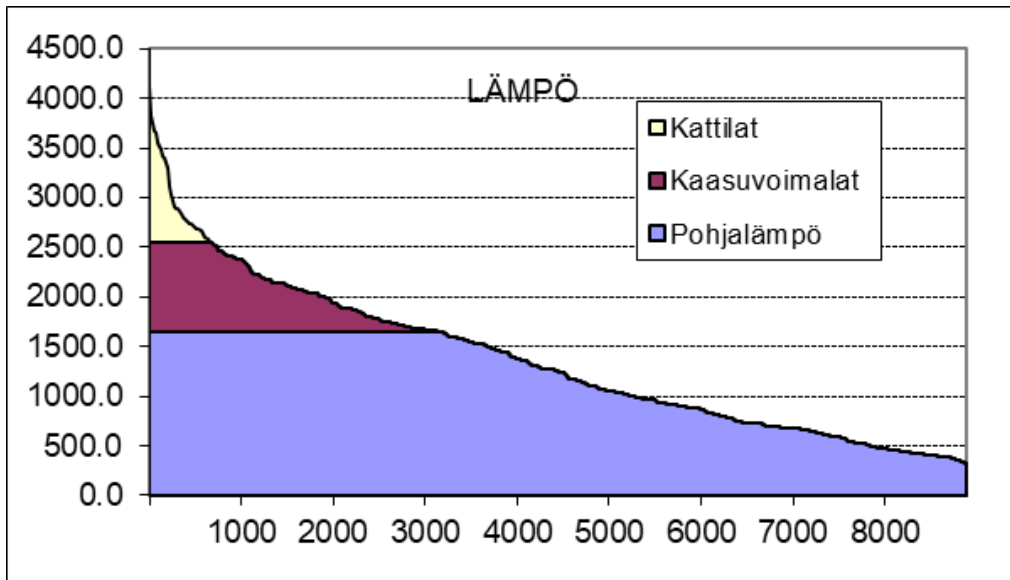
Ydinkaukolämpövaihtoehdoissa kaukolämmön tuotantojärjestelmä muodostuu 3 barin järjestelmässä (115 C menolämpötila) kuvan 4.1 mukaiseksi. Pohjalämpöä on 372 + 1235 = 1610 MW, kaasuvoimatehoa 890 MW ja lämpökattiloita 1500 MW. Kaukolämmöstä tuotetaan 10.075 GWh pohjalämmöllä, johon kuuluu lämpöpumput, jätelämpövoimala ja ydinkaukolämpö. Kaasuvoimalat tuottavat 1560 GWh ja huippulämpökeskukset 360 GWh.



Kuva 4.1 Pysyvyyskäyrä 3 barin (115 °C) ydinlämpövaihtoehdossa.

Jos ydinkaukolämpöä tehdään 6 barin järjestelmässä (menolämpötila 140 °C), kaukolämmön tuotanto on kuvan 4.2 mukainen. Pohjalämpöä on 1652 MW (372 MW + 1280 MW ydinkaukolämpöä), kaasuvoimalatehoa 890 MW ja kattilatehoa 1960 MW.

Pohjalämpöä tuotetaan 10.220 GWh (1652 MW), kaasuvoimalla tuotetaan 1450 GWh (890 MW) lämpöä ja huippulämpökeskuksilla 330 GWh.



Kuva 4.2 Pysyvyyskäyrä 6 barin (140 °C) ydinlämpövaihtoehdossa.

4.2 Kustannukset

Pohjalämmön tuotantokustannukset ovat ydinkaukolämmöllä 32 €/MWh, kun ne ovat nykyvaihtoehdolla noin 51 €/MWh (Taulu 4.2.1). Huippu- ja keskilämpö maksaa ydinvaihtoehdoissa noin 50 M€ vähemmän kuin nykytilanteessa (Taulu 4.2.2).

Taulu 4.2.1 Pohjalämmön tuotantokustannukset.

| Pohjalämmön tuotanto | | Nykytilanne | Ydinlämpö 3 bar | Ydinlämpö 6 bar |
|----------------------|-------|-------------|--------------------|--------------------|
| Lämpöpumput | M€ | 50.7 | 50.7 | 50.7 |
| Jätevoimala | M€ | 51.2 | 51.2 | 51.2 |
| Ydin/hiili | M€ | 378.9 | 227.3 | 222.6 |
| Yhteensä | M€ | 480.8 | 329.2 | 324.5 |
| Energia | GWh | 9360.0 | 10075.0 | 10220.0 |
| Kustannus | €/MWh | 51.4 | 32.7 | 31.7 |

Taulu 4.2.2 Huippu- ja keskilämmön tuotantokustannukset

| Huippu ja keskilämpö | | Nykytilanne | Ydinlämpö | Ydinlämpö |
|----------------------|-----------|-------------|------------|------------|
| | | | 3 bar | 6 bar |
| Kaasuvoimalat | M€ | 149 | 116 | 110 |
| Lämpökeskukset | M€ | 72 | 59 | 55 |
| Yhteensä | M€ | 221 | 175 | 165 |
| Tuotanto | GWh | 2640 | 1925 | 1780 |
| Ominaisinta | €/MWh | 83.7 | 90.7 | 92.9 |

Lämmöntuotannon kokonaiskustannukset ovat ydinkaukolämmöllä 200- 210 M€ pienemmät kuin nykytilanteessa (Taulu 4.2.3).

Taulu 4.2.3 Lämmöntuotannon kustannukset

| Lämmöntuotannon kustannukset | | Nykytilanne | Ydinlämpö | Ydinlämpö |
|------------------------------|-----------|-------------|------------|------------|
| | | | 3 bar | 6 bar |
| Pohjalämpö | M€ | 481 | 329 | 324 |
| Huippulämpö | M€ | 221 | 175 | 165 |
| Yhteensä | M€ | 702 | 504 | 490 |
| Tuotanto | GWh | 12000 | 12000 | 12000 |
| Lämmön hinta | €/MWh | 58.5 | 42.0 | 40.8 |
| Säästö | M€ | 0 | -198 | -212 |

4.3 CO₂-päästöt

PKS:n lämmöntuotannosta syntyy CO₂-päästöjä nykyisin 3,6 miljoonaa tonnia. Ydinkaukolämpövaihtoehdoissa päästöjen määrä on noin 1,0 – 1,1 miljoonaa tonnia (Taulu 4.3.1). Se on 70 % vähemmän kuin nykyisessä hiilipohjaisessa järjestelmässä.

Taulu 4.3.1 Vaihtoehtojen CO₂-päästöt.

| Lämmöntuotannon CO ₂ -päästöt | | Nykytilanne Hiililämpö | Ydinlämpö | Ydinlämpö |
|--|--------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | | | 3 bar | 6 bar |
| Pohjalämpö | kt | 565 | 565 | 565 |
| Keskilämpö | kt | 2442 | 80 | 91 |
| Kaasuvoimalat | kt | 466 | 344 | 322 |
| Lämpökeskukset | kt | 121 | 83 | 73 |
| Yhteensä | kt | 3594 | 1073 | 1052 |
| Ominaispäästö | g/kWh | 299 | 89 | 88 |
| Vertailu nykytilanteeseen | | 100% | 30% | 29% |

5. Yhteenveto

Ydinkaukolämmön avulla saavutetaan noin 200 miljoonan euron säästö pääkaupunkisedun lämmöntuotantokustannuksissa. Lämmöntuotantokustannukset laskevat nykyisestä noin 58 €/MWh arvoon 41 – 42 €/MWh eli noin 30 %. Kustannusten pieneminen tarkoittaa, että kaukolämmöstä tulee huomattavasti kilpailukykyisempää ydinkaukolämmön avulla.

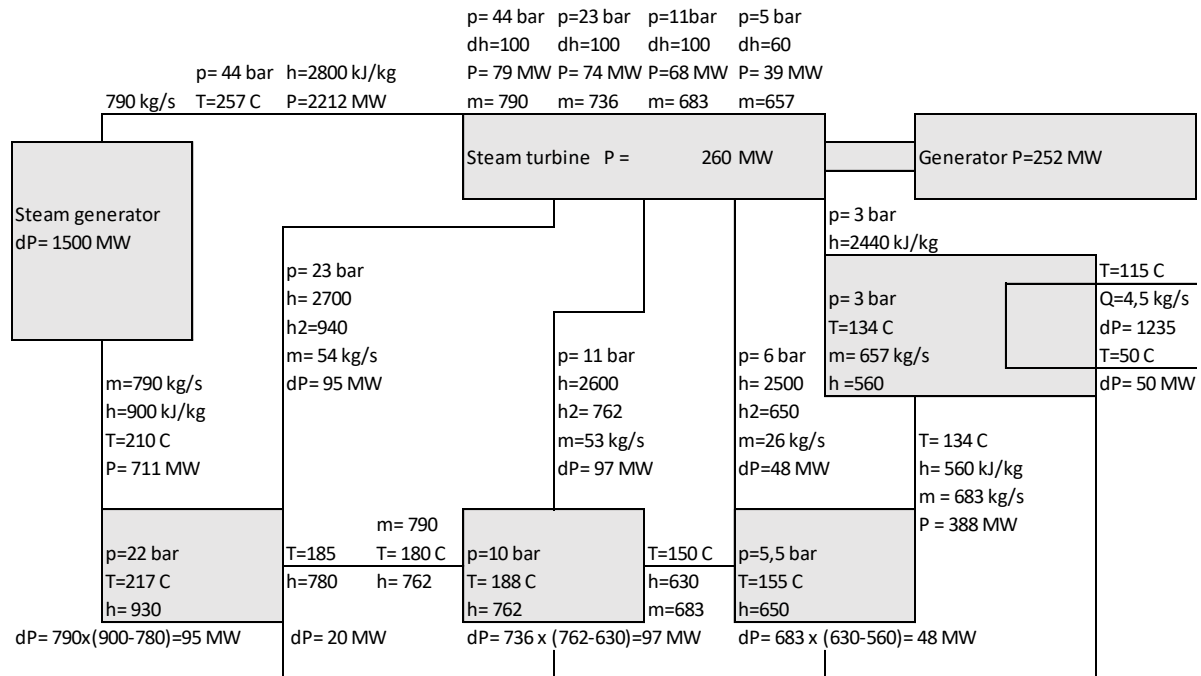
Ydinkaukolämmön avulla Pääkaupunkiseudun kaukolämmön CO₂-päästöt pienenevät noin 3,6 miljoonasta tonnista noin miljoonaan tonniin eli noin 70 %. Suuremmalla lämpötilalla lämpöä voitaisiin hyödyntää myös Kilpilahden tuotantolaitoksissa, jolloin myös Kilpilahden päästöjä voitaisiin pienentää merkittävästi.

Ydinkaukolämpömuutos voidaan toteuttaa vuoteen 2025 mennessä rakentamalla Loviisaan viides höyryturpiini, joka olisi tyypiltään vastapaineturpiini. Sen vastapaine olisi 3 tai 6 baria, jolloin menoveden lämpötila olisi 115 tai 140 astetta Celsiusta.

Suuremmalla menoveden lämpötilalla sähköntuotanto vähenee ja ydinlämmön tuotanto kasvaa. Korkeammalla lämmöllä lämpöä voidaan käyttää myös Porvoon jalostamon laitoksilla ja samalla parantaa niiden kannattavuutta ja pienentää CO₂-päästöjä.

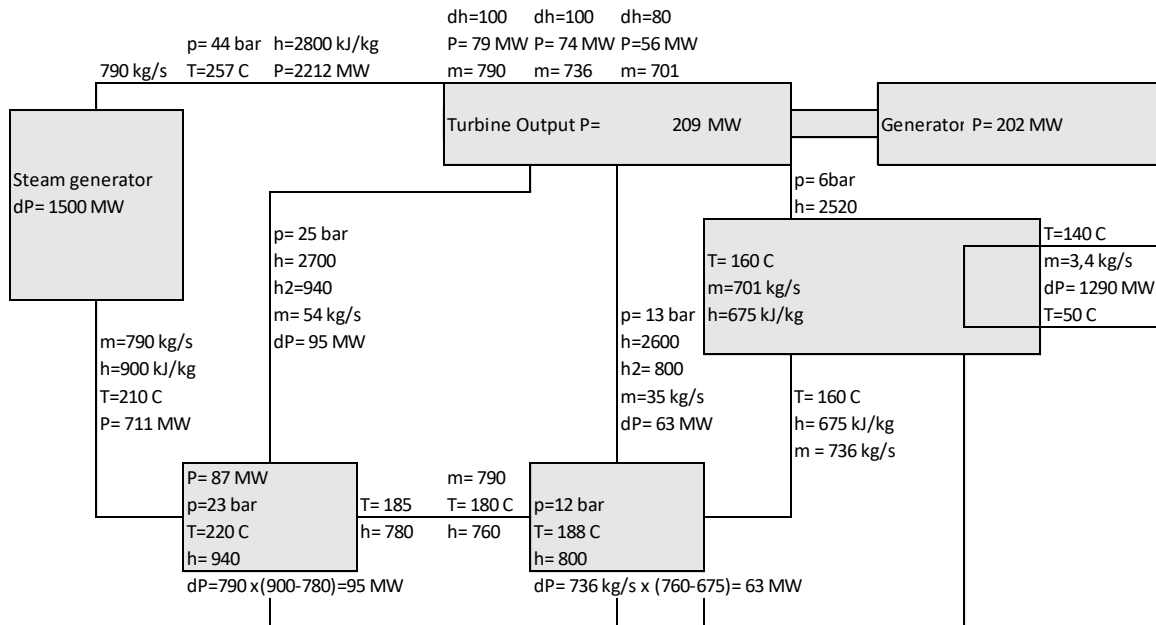
Ydinkaukolämpö on erittäin kannattava investointi, joka avulla voidaan samalla pienentää CO₂-päästöjä noin 2,6 miljoonaa tonnia. Samalla sen avulla Pääkaupunkisedun kaukolämmön kilpailukyky ja öljynjalostamon kannattavuus paranevat merkittävästi.

Liite 1. Lämpötasekaavio, kun vastapaine on 3 bar, lähtölämpötila 115 °C.



| Lämpötase | Sähköä | Lämpöä | Yhteensä |
|--------------|--------|--------|----------|
| Generaattori | 252 | 1235 | 1487 |
| Omakäyttö | -20 | -50 | -70 |
| KL-pumput | -50 | 50 | 0 |
| Netto | 182 | 1235 | 1417 |
| Hyötysuhde | 12% | 82% | 94% |

Liite 2. Lämpötasekaavio, kun vastapaine on 6 bar, lähtölämpötila 140 °C.



| Lämpötase | Sähköä | Lämpöä | Yhteensä |
|--------------|--------|--------|----------|
| Generaattori | 202 | 1290 | 1492 |
| Omakäyttö | -20 | -50 | -70 |
| KL-pumput | -38 | 38 | 0 |
| Netto | 144 | 1278 | 1422 |
| Hyötysuhde | 10% | 85% | 95% |