



**ÍSOR**  
ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

# **Endurheimt massa- og orku- forða í reiknilíkani Hengils, við breytilegt niðurrennsli skiljuvatns í jarðhitageyminn**

Grímur Björnsson

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

**Greinargerð**

**ÍSOR-05204**

Verknr.: 8 630 022

25.11.2005

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkugarður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699  
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599  
isor@isor.is – www.isor.is

## INNGANGUR

Eftirfarandi greinargerð er unnin að beiðni Orkuveitu Reykjavíkur. Í henni er skoðað hvort miklu máli skiptir fyrir endurheimt massa- og varmaforða í reiknilíkani Hengilssvæðisins hvort skiljuvatni sé rennt ofan í jarðhitageyminn á ný eður ei. Vísað er til nýlegra hermireikningaskýrsla um forsendur og vinnslutilvik (Grímur Björnsson og Arnar Hjartarson, 2003; Grímur Björnsson, 2005). En í aðalatriðum snýst málið um að skoða hvort afturkræfni framkvæmdar, þar sem annarsvegar 120 MW virkjun nýtir borsvæði á Hellisheiði, en hins vegar þar sem 240 MW virkjun nýtir til viðbótar borsvæði á Skarðsmýrarfjalli, sé næm fyrir magni skiljuvatns sem er rennt á ný ofan í jarðhitageyminn. Greinargerðin er þannig byggð upp að fyrst er lýst vinnslutilvikum sem tekin eru til skoðunar, þar næst er lýst hvernig massa- og orkuforði reiknilíkansins breytist við að öll vinnsla á Hengilssvæði stöðvast árið 2036. Þar á eftir er skoðað hvernig hiti- og þrýstingur í einstökum holum bregst við. Endað með stuttri samantekt.

## VINNSLUTILVIK

Þeim hefur áður verið lýst í hermireikningaskýrslum. Stuðst er annars vegar við tilvik sem tekur til 120 MW virkjunar sem vinnur úr borsvæði Hellisheiðar eingöngu. Hins vegar er miðað að önnur 120 MW virkjun séu rekin til viðbótar hinni og fódruð með gufu úr borholum uppi á Skarðsmýrarfjalli. Þessi tvö tilvik gera bæði ráð fyrir að öllu skiljuvatni sé rennt á ný ofan í jarðhitageyminn. Nú hafa verið reiknuð til viðbótar sömu tvö vinnslutilvik, en að þessu sinni er engu skiljuvatni rennt niður. Tafla 1 gefur yfirlit um þetta.

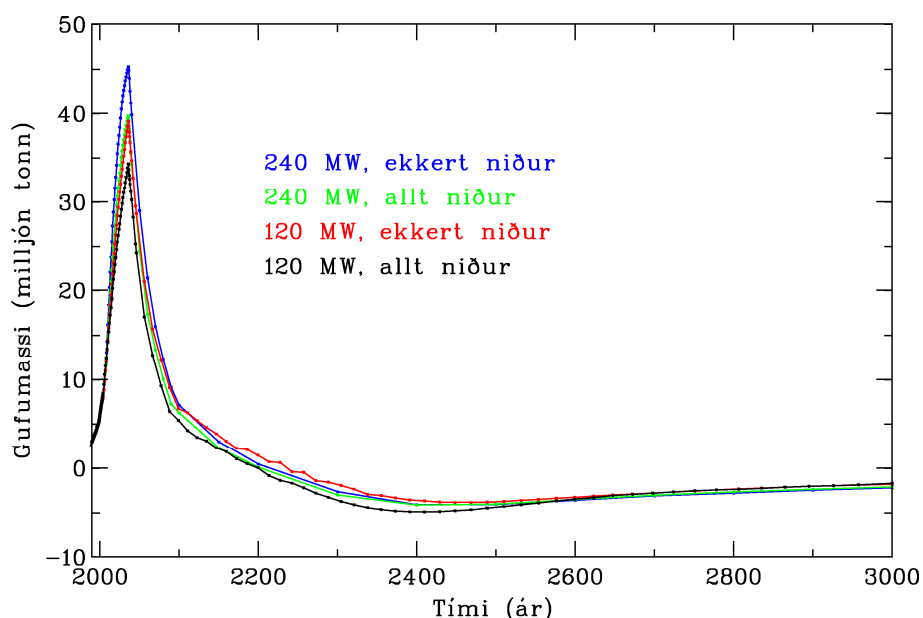
**Tafla 1:** Yfirlit um líkanreikninga sem meta afturkræfni vinnslu úr borsvæðum Hellisheiðar og Skarðsmýrarfjalls

Nafn vinnslutilviks	Framleiðsla úr borsvæði Hellisheiðar (MW)	Framleiðsla úr borsvæði Skarðsmýrarfjalls (MW)	Niðurrennsli skiljuvatns	Keyrsluskrár á tölvueyki Sleggjunnar. Hafa forskeytið: /home/finster/hengill/ vinnsla.2003likan/spa5_7
120 MW, allt niður	120	0	Allt niður	vinnsla.2003likan/spa5_7
120 MW, ekkert niður	120	0	Ekkert niðurrennsli	vinnsla.2003likan/afturkraefni_engin_nidurd
240 MW, allt niður	120	120	Allt niður	skardsmyrarfjall/jul04a
240 MW, ekkert niður	120	120	Ekkert niðurrennsli	skardsmyrarfjall/afturkraefni_ekkert_nidur

## AFTURKRÆFNI ORKU- OG MASSAFORÐA

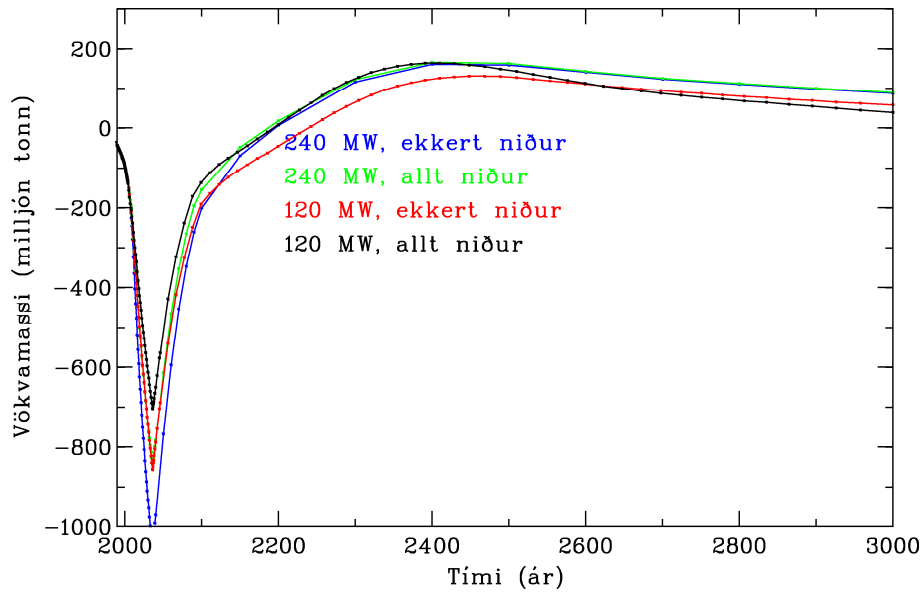
Myndir 1 til 3 sýna hvernig massa- og orkuforði í reiknilíkani Hengils endurheimtast við það að slökkt er á allri vinnslu árið 2036. Myndirnar eru unnar í möppunni /ffr/hengill/skeljar.grb/skardsmyrar-fjall/skipulag\_vidbot\_2005 og eru framleiddar með skelinni teikna.orku.i.likani.

Mynd 1 sýnir spár um gufumassa í reiknilíkaninu fyrir tilvikin fjögur sem lýst var í töflu 1. Niðurstaðan er nokkuð fyrirséð, a.m.k. fyrir þann sem hér ritar. Lægstur gufutoppur myndast í 120 MW framleiðslu og við fullt niðurrennsli, en hæstur ef 240 MW eru tekin upp og engu skiljuvatni rennt niður í jarðhitageyminn. Hins vegar er sáralítill munur milli 120 MW með engu niðurrennsli og 240 MW með fullu niðurrennsli. Spárnar renna síðan hratt saman við að vinnslu stöðvast. Er munur í gufumassa milli tilvika sáralítill strax kringum árið 2100.



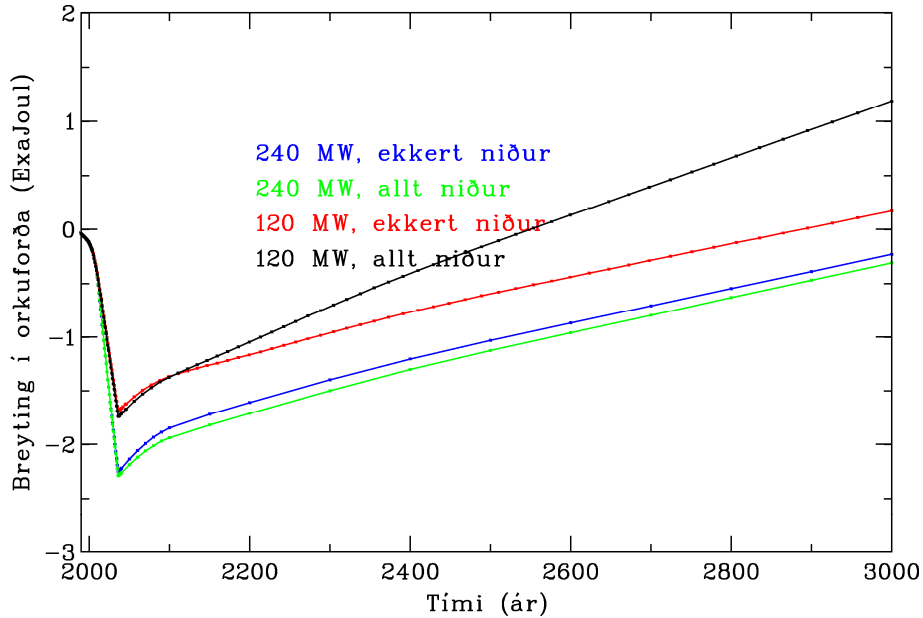
**Mynd 1:** Þróun gufumassa í Hengilslíkönun við mismikla vinnslu og niðurrennsli.

Mynd 2 sýnir svo spá um vökvamassa í Hengilslíkani, þ.e. summu vatns og gufu í þorum bergsins í reiknilíkaninu. Nánast er um spegilmynd gufumassans að ræða. Á jöfnunartímanum kemur svo í ljós að líkanið rúmar fleiri tonn vökva en var áður en vinnsla hófst. Skýrist það af eðlisþyngdarbreytingum vegna staðbundinnar kælingar. En eins veldur að gufuhlutfall í þorum er lægra á jöfnunarskeiðinu. Sama sést reyndar á mynd 1.



**Mynd 2:** Þróun vökvamassa í Hengilslíkönum við mismikla vinnslu og niðurrennsli

Mynd 3 sýnir loks orkuforða reiknilíkansins. Um er að ræða hrávarma alls bergs og alls vökva í líkaninu. Reiknað er í exajoulum, hvar 1 EJ jafngildir  $10^{18}$  J. Sést að litlu munar í útreiknuðum orkuforða hvort skiljuvatninu er rennt niður tæplega  $80^\circ\text{C}$  heitu eður ei. Þá kemur jafnframt sú spá að orkuforðinn hefur jafnað sig árið 3000.

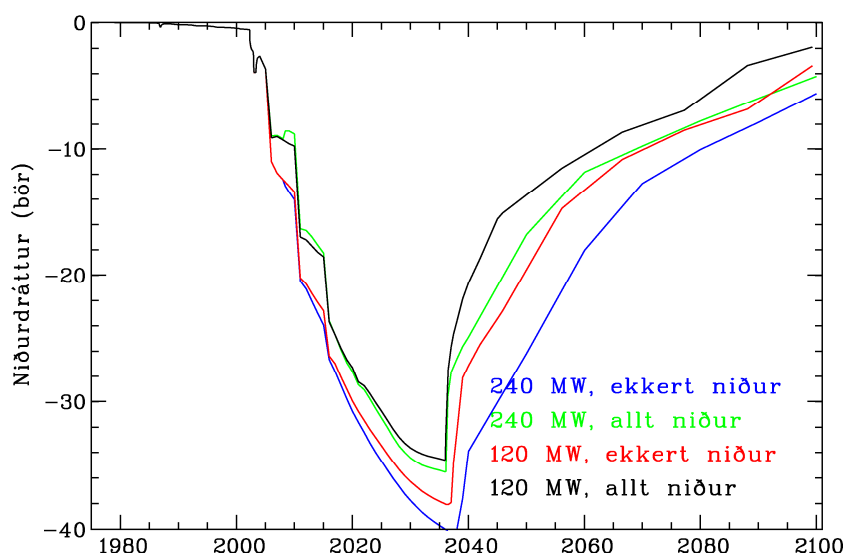


**Mynd 3:** Þróun orkuforða í Hengilslíkönum við mismikla vinnslu og niðurrennsli

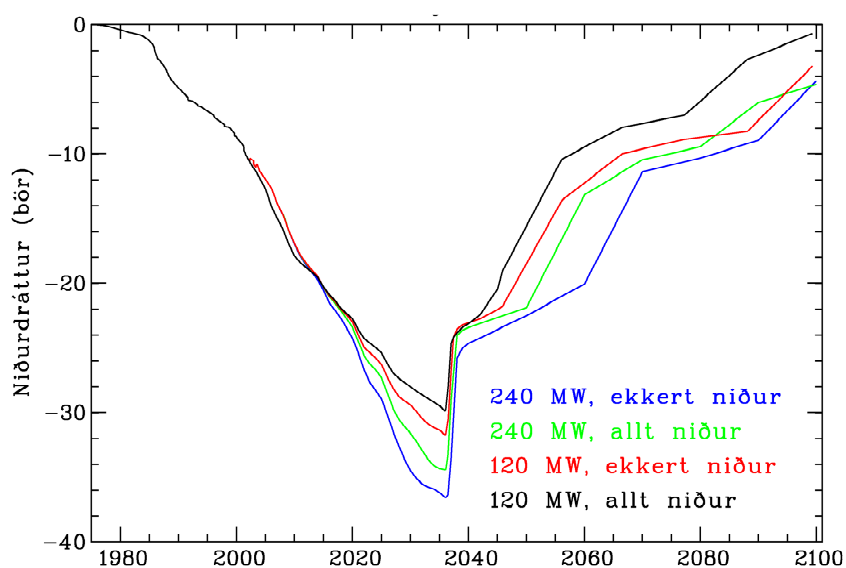
## JÖFNUN ÞRÝSTINGS

Næst lá fyrir að skoða hvaða áhrif vinnsla úr borsvæðum Skarðsmýrarfjalls og Hellisheiðar, með og án niðurdælingar, hefði á þrýsting á nokkrum athugunarstöðum. Aftur var unnið í Unix möppunni /ffr/hengill/skeljar.grb/skardsmyrar-fjall/skipulag\_vidbot\_2005 og keyrð skelin teikna.nidurdr.

Myndir 4 og 5 sýna spár um niðurdrátt og jöfnun þrýstings inni á miðjum borsvæðum Nesjavalla og Hellisheiðar. Svipað er uppi á teningnum og áður, 240 MW án niðurrennsli reyna mest á þrýstinginn og 120 MW með fullu niðurrennsli minnst. Jöfnun þrýstings er síðan hröð við að vinnsla hættir. Athyglisvert er hve lítill munur er á reiknuðum niðurdrætti á Hellisheiði milli 120 MW með engu niðurrennsli og 240 MW við fullt niðurrennsli.

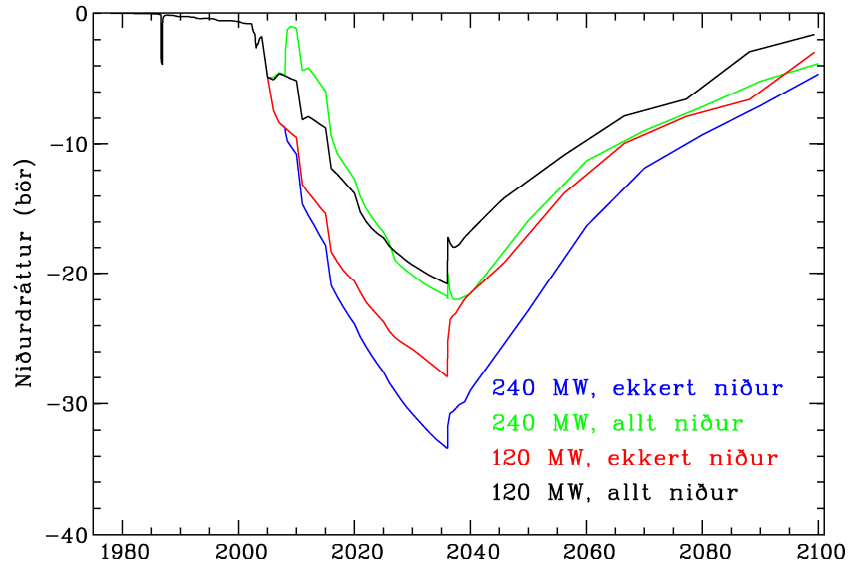


**Mynd 4:** Spá um þrýstiniðurdrátt í miðju borsvæði Hellisheiðar, við mismikla vinnslu og niðurrennsli

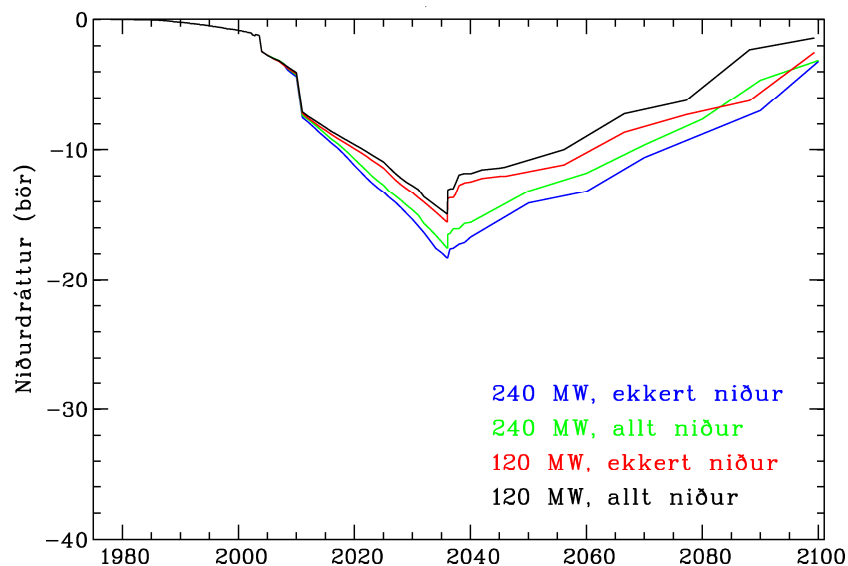


**Mynd 5:** Spá um þrýstiniðurdrátt í miðju borsvæði Nesjavalla, við mismikla vinnslu og niðurrennsli

Myndir 6 til 9 sýna svo til viðbótar þrýsting á ytri hlutum borsvæðisins á Hellisheiði, svo og á Ölkelduhálsi og í Hveragerði. Áfram stendur aðalniðurstaða spánna, að þrýstingurinn er afturkræfur eiginleiki jarðhitakerfanna á Hengilssvæði og jafnar sig að upphafsstandi á móta lengi og vinnslan stóð. Staðbundinn árangur af niðurrennsli kemur fram á Hellisheiði vestanverðri, þar sem 240 MW með niðurrennsli valda sama niðurdrætti og 120 MW með engu niðurrennsli. Skýrist það með því að nýr niðurrennslistaður í spánum fyrir Skarðsmýrarfjall, er nærri eftirlitsholunni á mynd 6.

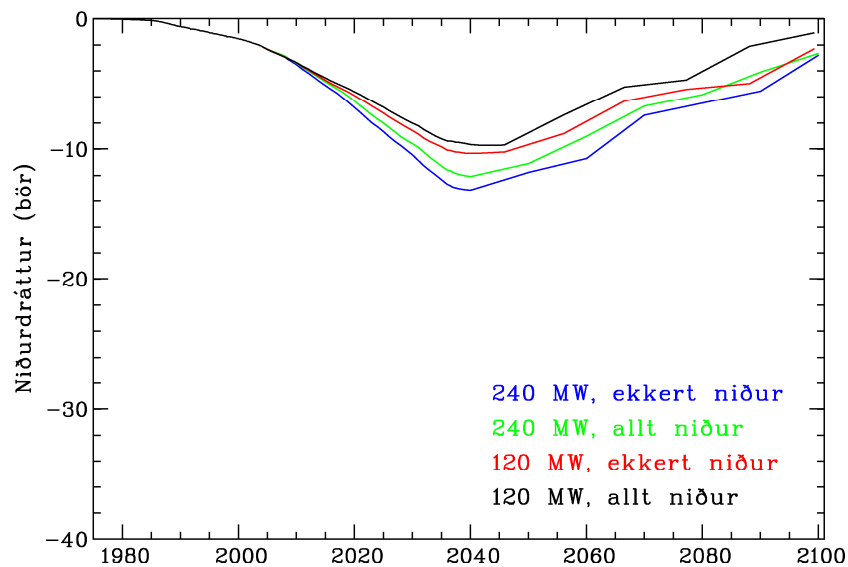


**Mynd 6:** Spá um þrýstiniðurdrátt á vestanverðu borsvæði Hellisheiðar, við mismikla vinnslu og niðurrennsli

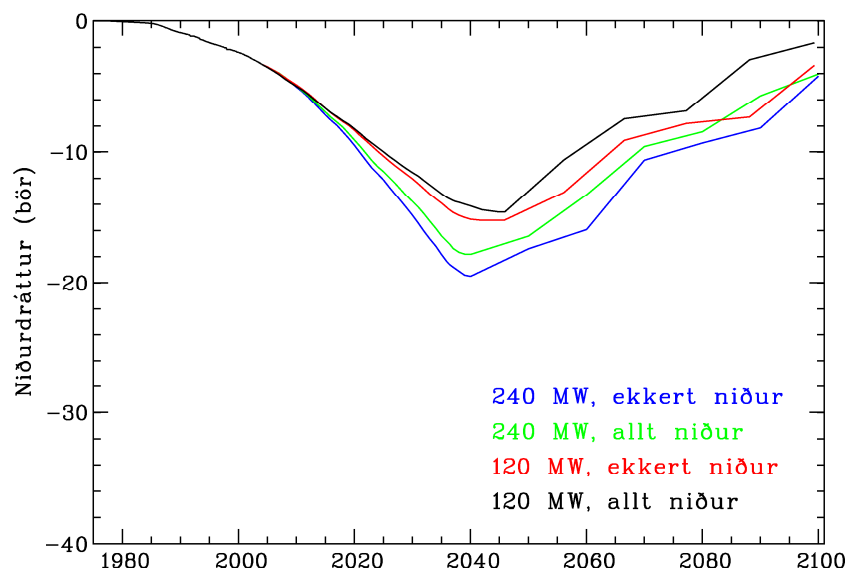


**Mynd 7:** Spá um þrýstiniðurdrátt á austanverðu borsvæði Hellisheiðar, við mismikla vinnslu og niðurrennsli

Myndir 8 og 9 (Ölkelduháls og Hveragerði) sýna svo að eftir því sem meira er tekið upp úr borsvæðunum á Skarðsmýrarfjalli og á Hellissvæði, því útbreiddari verður þrýstiniðurdráttur frá vinnslunni. Ætti ekki að koma á óvart því fleiri kýr súpa nú úr sama dallinum. Talsverð óvissa er samt í spám svo langt frá borsvæðunum fyrrnefndu. Verða þær ekki minnkaðar nema með rannsóknaholum utan þeirra. Leiðir samt hugann að hvítbók Iðnaðarráðuneytisins um vinnslugetu allra jarðhitakerfa á Hengilssvæði (Iðnaðarráðuneytið, 1994). Þar segir: “Miðað við stærð svæðisins er reiknað með að svæðið geti staðið undir 5500 GWh/ári raforkuvinnslu í 50 ár, og 690 MWe uppsettu afli. Reiknað er með 5-7 virkjunarstöðum”. Má ljóst vera að til að svo megi verða, þurfa þeir sem reka virkjanir á svæðinu að búast sig undir að borsvæði sláist talsvert meira um sömu vatnsdropana en lítur út fyrir í núverandi virkjanaáformum.



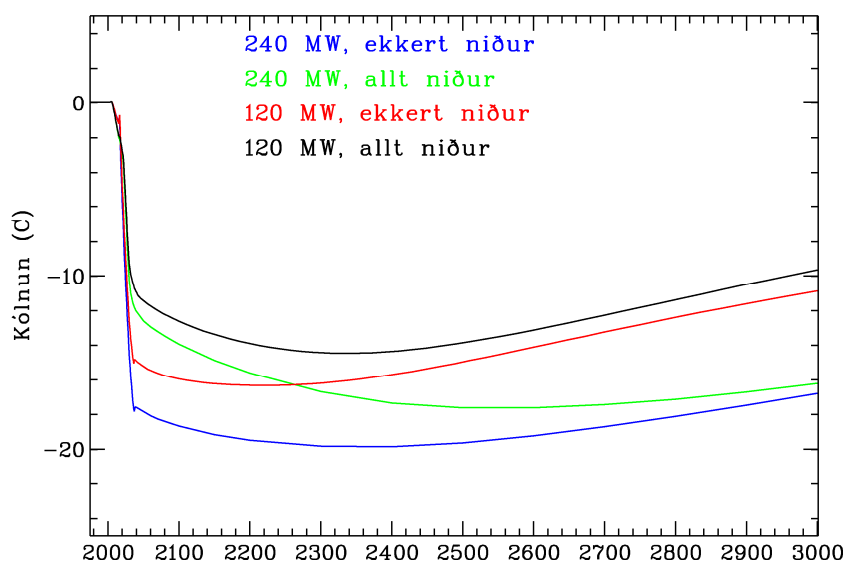
**Mynd 8:** Spá um þrýstiniðurdrátt í Hveragerði, við mismikla vinnslu og niðurrennsli



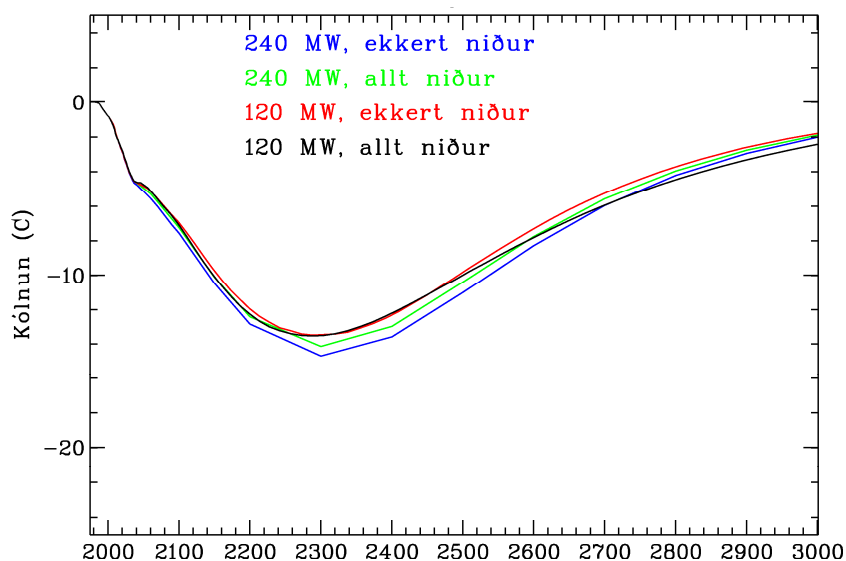
**Mynd 9:** Spá um þrýstiniðurdrátt á Ölkelduhálsi, við mismikla vinnslu og niðurrennsli

## JÖFNUN HITA

Myndir 10 til 14 sýna loks spár um hita vítt og breitt um Hengil, og er árabilið 1985 til 3000 til skoðunar. Unix mappan sem geymir myndirnar heitir /ffr/hengill/skeljar.grb/skardsmyrarfjall/skipulag\_vidbot\_2005 og þær eru framleiddar með skelinni teikna.kólnun. Eitt og annað sést. Áður hefur komið fram að á miðju borsvæðis Hellisheiðar nær hiti ekki að ganga að fullu til baka við 1000 ára vinnsluhvöld (mynd 10). Má ljóst vera að 240 MW virkjun gengur hraðar á varmanámuna en sú 120 MW. Ekki er sterkt samband við niðurrennslið, heldur er því spáð að niðurdráttur og þar með suða í bergi, kæli jarðhitageyminn á afmörkuðum svæðum. Á Nesjavöllum horfir hins vegar öðru vísi við. Þar reiknast varmanáman afturkræf við 1000 ára hvöld óháð vinnslutilhögun á Hellisheiði og Skarðsmýrarfjalli (mynd 11).

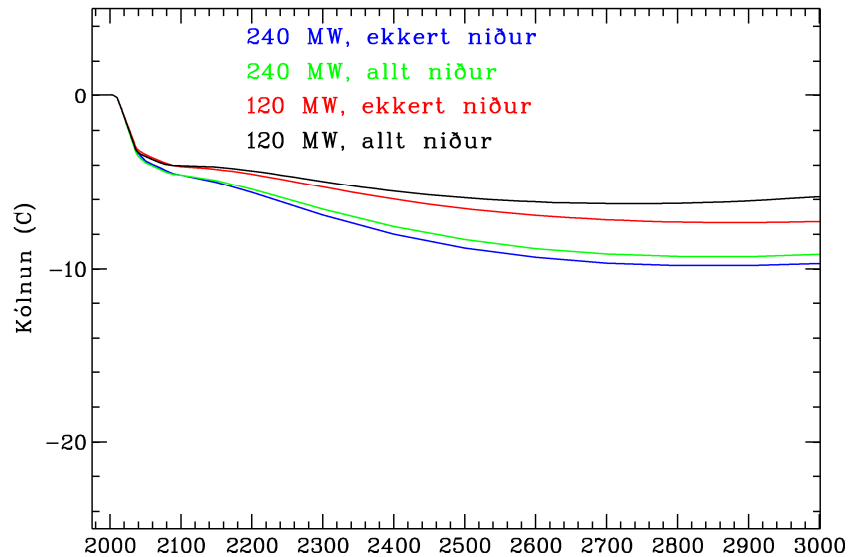


Mynd 10: Spá um jöfnun hita í miðju borsvæði Hellisheiðar, við mismikla vinnslu

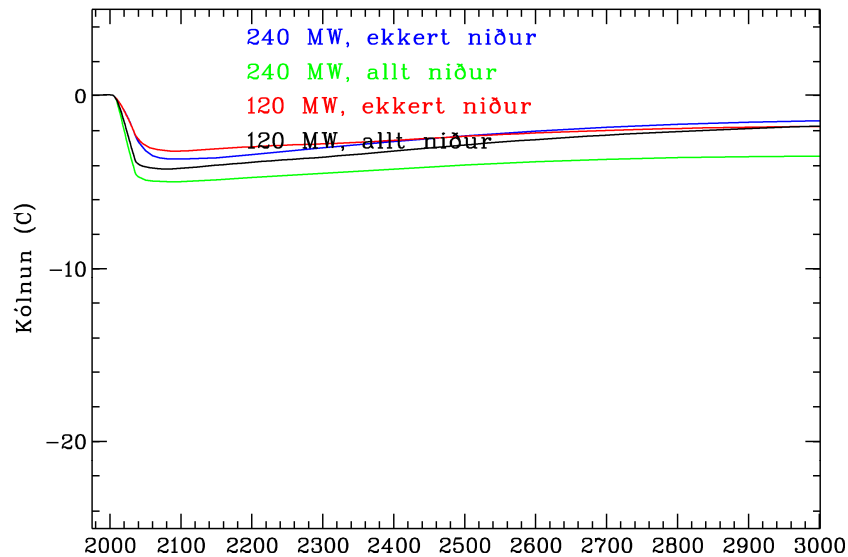


Mynd 11: Spá um jöfnun hita í borsvæði Nesjavalla, við mismikla vinnslu

Myndir 12 og 13 sýna síðan hita á jöðrum vinnslusvæðisins á Hellisheiði. Þar er spáð vægari kólnun en í miðju þess. Nær hún að ganga til baka vestan til en ekki austan megin. Hraði kælingar venslast við heildarframleiðsluna en ekki nema að óverulegu leyti við niðurrennsli. Aftur er það rakið til þess að niðurdráttur þrýstings og staðbundin suða leiða til kælingarinnar, ekki niðurrennslið.

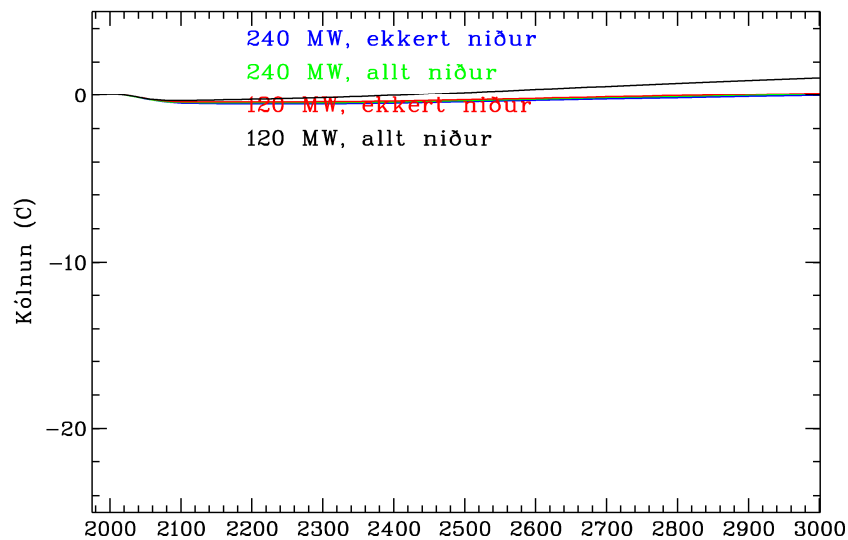


**Mynd 12:** Spá um jöfnun hita í austurhluta borsvæðis Hellisheiðar, við mismikla vinnslu og niðurrennsli

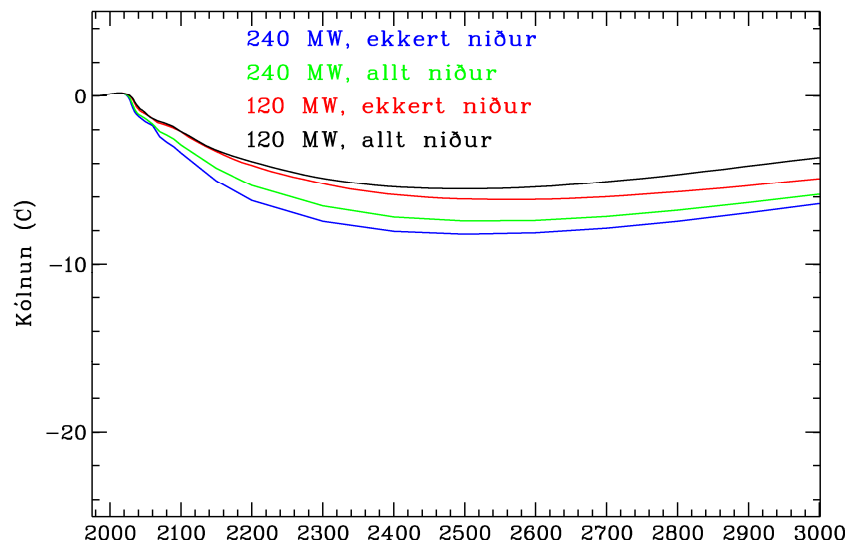


**Mynd 13:** Spá um jöfnun hita í vestanverðu borsvæði Hellisheiðar, við mismikla vinnslu og niðurrennsli

Myndir 14 og 15 sýna loks spár um kólnun í Hveragerði og á Ölkelduhálsi. Reiknast hún engin í Hveragerði og innan við 5 °C á Ölkelduhálsi. Hér skortir reiknilíkanið gögn til að kvörðun þess verði nákvæmari. Því rétt að gera ekki of mikið úr spánum. Þó má ekki láta hjá líða að nefna að þrýstibreyting ferðast miklu hraðar í jörð en hitabreyting. Áður var að því vikið, í umfjöllun um myndir 8 og 9, að eftir því sem meir er tekið upp úr jarðhitakerfum á Hengilssvæði, þess meiri verða líkurnar á að vinnsla úr einu svæði lækki þrýsting í öðru. Og þar með meðalafköst holna. Hins vegar benda myndir 14 og 15 til þess að ástæðulaust sé að óttast um hitann. Ætti það að sýna að hættan á að stórar virkjanir á Hengilssvæði ofkeyri varmaauðlindina, er mest í borsvæðum þeirra sömu virkjana. Áhrif á þá sem utar sitja verða helst í þrýstingi, en hann má endurheimta nokkuð auðveldlega með hvíld eða vel reknum niðurrennslisveitum.



**Mynd 14:** Spá um jöfnun hita í Hveragerði, við mismikla vinnslu og niðurrennslu á Hellisheiði og á Nesjavöllum.



**Mynd 15:** Spá um jöfnun hita á Ölkelduhálsi, við mismikla vinnslu og niðurrennslu á Hellisheiði og á Nesjavöllum

## SAMANTEKT

Þessi eru aðalatriðin í skoðun þess hvort niðurrennsli skiljuvatns hafi mikil áhrif á reiknaða afturkræfni jarðhitavinnslu á Hellisheiði:

- Skoðuð eru með tiltæku reiknilíkani af Hengilssvæðinu 4 vinnslutilvik. Þau eru 120 MW rafmagns á Hellisheiðarsvæði og önnur 120 MW á borsvæði Skarðsmýrarfjalls. Bæði skoðað fullt og ekkert niðurrennsli skiljuvatns.
- Gufumassi í reiknilíkani vex eftir því sem meir er tekið upp úr því nettó. Jöfnunarhraði gufumassans, við að vinnsla stöðvast árið 2036, er mjög ámóta og lítt háður vinnslu og niðurdælingu.
- Sama gildir um heildarmassa gufu og vatns í reiknilíkaninu. Á skala alls líkansins skiptir því ekki öllu hvort niðurrennsli er í gangi eður ei nema á sjálfum rekstrartíma orkuveranna.
- Þá sýnir sig að lækkun í orkuforða líkansins er nánast sú sama á vinnslutíma, hvort sem skiljuvatni er rennt ofan í jarðhitageyminn eður ei. Jöfnun að upphafsástandi næst á 1000 árum.
- Niðurdráttur þrýstings reiknast mestur í miðju borsvæða Nesjavalla og Hellisheiðar. Minnkar síðan til jaðranna en reiknast áfram marktækur allt austur að Hveragerði. Stöðvun vinnslu árið 2036 sýnir svo að þrýstingurinn gengur til baka að upphafsgildi á ámóta löngum tíma og vinnslan stóð. Líkanið spáir að áhrif niðurrennslis á jöfnunarhraða þrýstings verði hlutfallslega lítil.
- Hiti á völdum stöðum í reiknilíkani sýnir sig einnig að vera lítt næmur fyrir áhrifum niðurrennslis. Suða í bergi, sem fylgir þrýstilækkun vegna vinnslu, er mun áhrifaríkari sem kælivaldur. Sú kæling sem reiknast er staðbundin og berst ekki yfir í önnur svæði.
- Nágrannar orkuvera á Hellisheiði mega því frekar eiga von á þrýstilækkun sem fylgifyisk vinnslu þar. Þrýsting sem er tiltölulega auðvelt að endurheimta.

Að samanlögðu er talið að magn niðurrennslis í rekstri jarðgufuvirkjana, sem nýta borsvæði á Skarðsmýrarfjalli og á Hellisheiði, hafi aðeins lítilsháttar áhrif á sögu massa- og orkuforða í reiknilíkani Hengils. Sjálf vinnslan úr borholum og stærð virkjana eru miklu afdrifaríkari.

## HEIMILDASKRÁ

Grímur Björnsson og Arnar Hjartarson, 2003: Reiknilíkan af jarðhitakerfum í Hengli og spár um framtíðarástand við allt að 120 MW rafmagnsframleiðslu á Hellisheiði og 120 MW á Nesjavöllum. Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-2003/009 150 s.

Grímur Björnsson, 2005 Hellisheiðarvirkjun - Skarðsmýrarfjall: spár um viðbrögð jarðhitakerfis við stækkun raforkuvers úr 120 í 240 MW. ÍSOR-2005/022 20 s.

Iðnaðarráðuneytið, 1994: *Innlendar orkulindir til vinnslu raforku*. Iðnaðarráðuneytið, Reykjavík, 153 s.