Landeldi - Þorlákshöfn

Grunnvatnslíkan

Dagur Sigurðarson
Kjartan Marteinsson

Unnið fyrir Landeldi ehf.

ÍSOR-2022/042 Nóvember 2022

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR
Kópavogur: Urðarhvarfi 8, 203 Kóp. – Sími: 528 1500
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500
isor@isor.is – www.isor.is

Lykilsíða

Skýrsla nr.	Dags.	Dreifing
ÍSOR-2022/042	Nóvember 2022	☒ Opin ☐ Lokuð til

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill	Upplag
Landeldi – Þorlákshöfn Grunnvatnslíkan	1
	Fjöldi síðna 79
Höfundar Dagur Sigurðarson og Kjartan Marteinsson	Verkefnisstjóri Jón Einar Jónsson
Gerð skýrslu / Verkstig	Verknúmer 22-0118

Unnið fyrir
Landeldi ehf.
Samvinnuaðilar

Útdráttur

Landeldi ehf. hefur áform um framkvæmdir vegna fiskeldis í landkvíum um 2 km vestur af Þorlákshöfn. Áætlað er að fiskeldið muni þurfa allt að 20.000 L/s af jarðsjó en fiskeldið verður byggt upp í þremur áföngum (þar sem jarðsjávarvinnsla mun nema 5.000, 10.000 og 20.000 L/s). Landeldi ehf. samdi við ÍSOR um að þróa grunnvatnslíkan af svæðinu til að spá fyrir um áhrif jarðsjávar- og ferskvatnsvinnslu á grunnvatn, jarðsjó og dreifingu seltu ásamt áhrifum á vinnslu annarra aðila á nærliggjandi lóðum.

Grunnvatnslíkanið var byggt upp með grunnvatnsherminum MODFLOW. Notast var við upplýsingar um jarðfræðilegar aðstæður á svæðinu, grunnvatnshæð, seltu og vinnslu hjá fiskeldisfyrirtækjum sem hafa aðstöðu á strandlengjunni sunnan og vestan við Þorlákshöfn. Þessi gögn voru notuð til að kvarða líkanið þar sem breytur þess eru stilltar af þannig að sem best samræmi fáist á milli líkans og mældra gagna.

Hermun sýnir að niðurdráttur vatnsborðs á svæði Landeldis miðað við 20.500 L/s vinnslu er um 1 m nyrst á vinnslusvæðinu en um 20 cm í 450 m radíus í kringum norðanvert vinnslusvæðið.. Vatnsborðsbreytingar vegna sjávarfalla eru um 2 m á þessu svæði svo niðurdráttur vegna aukinnar vinnslu Landeldis er lítill. Svipuð vatnsborðslækkun sést á svæði Landeldis fyrir öll þrjú vinnslutilfellin sem gefur til kynna að vatnsborðslækkun á svæðinu ráðist aðallega af stærð ferskvatnstöku úr svæðinu.

Lykilorð	
Sjóhola, Þorlákshöfn, Landeldi, Reykjanes, grunnvatnslíkan, fiskeldi, grunnvatn, jarðsjór, vatnsvinnsla, ÍSOR	Undirskrift verkefnisstjóra Jón Einar Jónsson
	Yfirfarið Daði Þorbjörnsson

Efnisyfirlit

1 Inngangur **7**

2 Svæði **7**

2.1 Vatnafar á svæðinu 8

3 Líkan **9**

3.1 Uppsetning 9

3.2 Kvörðun 12

3.2.1 Náttúrulegt ástand 13

3.2.2 Núverandi vinnsla 16

4 Hermun **16**

4.1 Náttúrulegt ástand 16

4.2 Önnur vinnsla 26

4.3 Framtíðarvinnsla 37

4.3.1 1. áfangi: 5.500 L/s 37

4.3.2 2. áfangi: 10.500 L/s 48

4.3.3 3. áfangi: 20.500 L/s 59

5 Niðurstöður **78**

6 Heimildaskrá **79**

Töflur

Tafla 1. *Vatnsleiðni fyrir mismunandi jarðlög í grunnvatnslíkaninu.* 12

Tafla 2. *Stærð núverandi og framtíðar vinnslu í grennd við Þorlákshöfn.* 27

Myndir

Mynd 1. *Yfirlitsmynd yfir vinnslusvæði Landeldis við Þorlákshöfn* 8

Mynd 2. *Dæmi um vatnsleiðni flokka fyrir nokkur jarðlög sem finnast á Íslandi* 9

Mynd 3. *Yfirlit yfir það svæði sem grunnvatnslíkanið nær yfir* 10

Mynd 4. *Jarðlagaskipting á hluta grunnvatnslíkansins fyrir mismunandi dýpi* 11

Mynd 5. *Samanburður á vatnsborði úr líkani við náttúrulegt ástand og frá mælingum fyrir valdar borholur* 14

Mynd 6. *Samanburður á dreifingu seltu með dýpi úr líkani við náttúrulegt ástand og frá mælingu úr völdum borholum* 15

Mynd 7. *Vatnsborð (m y.s.) og grunnvatnsrennsli í efsta lagi líkansins fyrir náttúrulegt ástand kerfisins.* 17

Mynd 8. *Áætlað aðrennslissvæði fersksvatns nálægt Þorlákshöfn* 18

Mynd 9. *Hermt vatnsborð (m y.s.) í náttúrulegu ástandi svæðisins* 18

Mynd 10. *Dreifing seltu fyrir náttúrulegt ástand svæðisins fyrir mismunandi dýpi* 19

Mynd 11. *Yfirlitsmynd sem sýnir staðsetningu mismunandi þversniða í gegnum svæðið* 23

Mynd 12. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi ásamt stefnu rennslis í hverju þversniði fyrir náttúrulegt ástand. Legu þversniða má sjá á mynd 10* 24
Mynd 13. *Hermt vatnsborð (m y.s.) eftir 1 ár af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar* 27
Mynd 14. *Reiknaður niðurdráttur vegna vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar í nokkrum borholum* 28
Mynd 15. *Dreifing seltu eftir 1 ár af af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar fyrir mismunandi dýpi.* 29
Mynd 16. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi ásamt stefnu rennslis í hverju þversniði (örvar) fyrir aðra vinnslu á líkanasvæðinu* 34
Mynd 17. *Reiknuð breyting á seltu vatns úr nokkrum borholum nálægt Þorlákshöfn vegna annarrar vinnslu á líkanasvæðinu í 1 ár* 36
Mynd 18. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) miðað við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 12) eftir 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár.* 38
Mynd 19. *Reiknuð breyting á vatnsborði í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis* 39
Mynd 20. *Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 14) við 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi* 40
Mynd 21. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu fyrir tvær hugsanlegar nýjar sjótökuholur á svæði Landeldis vegna 5.500 L/s vinnslu á svæðinu í 50 ár.* 44
Mynd 22. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár* 45
Mynd 23. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár* 47
Mynd 24. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) miðað við aðra vinnslu á svæðinu eftir 10.500 L/s vinnslu á svæði á Landeldis í 50 ár* 49
Mynd 25. *Reiknuð breyting á vatnsborði í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis* 50
Mynd 26. *Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu við 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi* 51
Mynd 27. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu fyrir tvær hugsanlegar nýjar sjótökuholur á svæði Landeldis vegna 10.500 L/s vinnslu á svæðinu í 50 ár* 55
Mynd 28. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár* 56
Mynd 29. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár* 58
Mynd 30. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) miðað við aðra vinnslu á svæðinu eftir 20.500 L/s vinnslu á svæði á Landeldis í 50 ár* 60
Mynd 31. *Reiknað vatnsborð (m y.s.) og grunnvatnsrennsli í efsta lagi líkansins fyrir 20.500 L/s vinnslu* 61
Mynd 32. *Reiknuð breyting á vatnsborði í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis* 62
Mynd 33. *Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 14) við 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi* 63

Mynd 34. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu fyrir tvær hugsanlegar nýjar sjótökuholur á svæði Landeldis vegna 20.500 L/s vinnslu á svæðinu í 50 ár* 67
Mynd 35. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár* 68
Mynd 36. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár* 70
Mynd 37. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) vegna heildarvinnslu á svæðinu* 72
Mynd 38. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) vegna heildarvinnslu á svæðinu við mismunandi árferði* 72
Mynd 39. *Breyting á seltu vegna heildarvinnslu á svæðinu m.v. náttúrulegt ástand fyrir mismunandi dýpi* 73

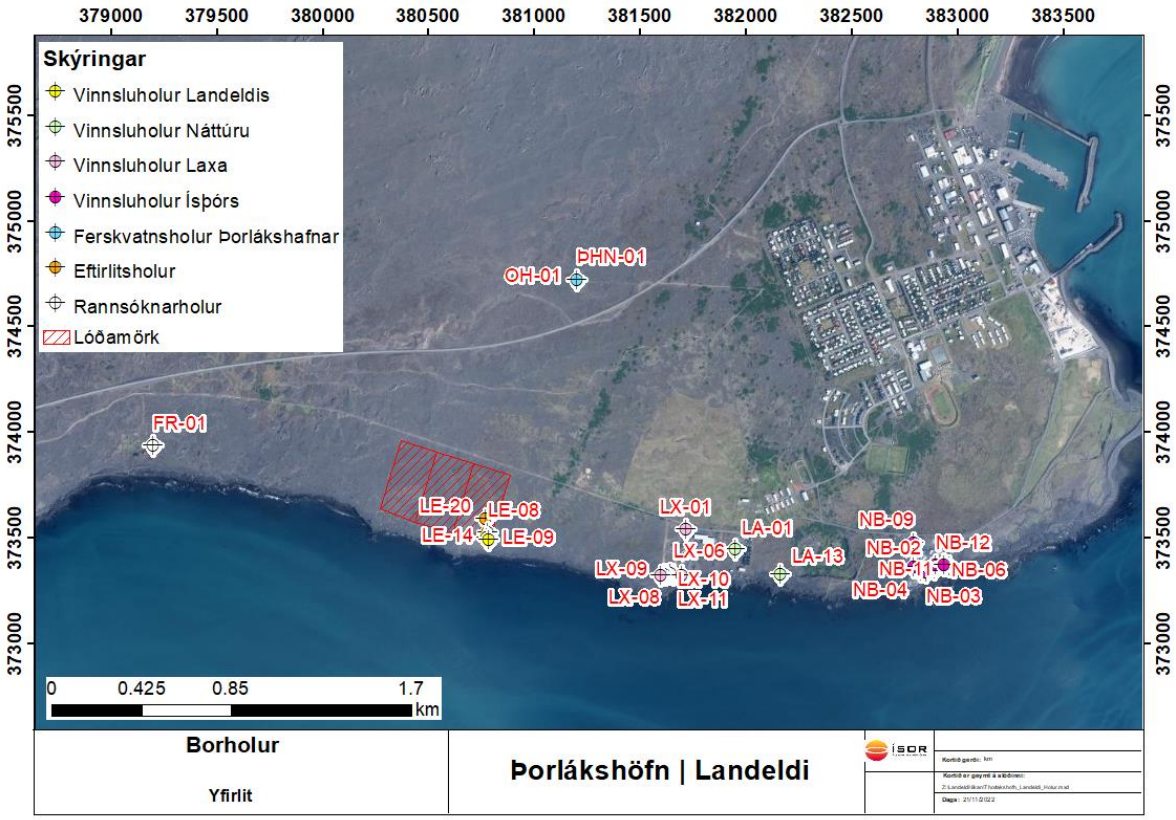
1 Inngangur

Landeldi ehf. hefur áform um framkvæmdir vegna fiskeldis í landkvíum um 2 km vestur af Þorlákshöfn. Áætlað er að fiskeldið muni þurfa allt að 20.000 L/s af jarðsjó en fiskeldið verður byggt upp í þremur áföngum (þar sem jarðsjávarvinnsla mun nema 5.000, 10.000 og 20.000 L/s). Landeldi samdi við ÍSOR um að þróa grunnvatnslíkan af svæðinu til að spá fyrir um áhrif vinnslu á grunnvatn, jarðsjó og dreifingu seltu ásamt áhrifum á vinnslu annarra aðila á nærliggjandi lóðum.

Grunnvatnslíkanið var byggt upp með grunnvatnsherminum MODFLOW. Notast var við upplýsingar um jarðfræðilegar aðstæður á svæðinu, grunnvatnshæð, seltu og vinnslu hjá fiskeldisfyrirtækjum sem hafa aðstöðu á strandlengjunni sunnan og vestan við Þorlákshöfn. Þessi gögn voru notuð til að kvarða líkanið þar sem breytur þess eru stilltar af þannig að sem best samræmi fáist á milli líkans og mældra gagna.

2 Svæði

Fyrirhugað vinnslusvæði Landeldis er um 1,7 km^2 að flatarmáli, staðsett þar sem heita Hellar, nánar tiltekið að Laxabraut 21, 23 og 25, um 2 km vestan við Þorlákshöfn. Mynd 1 sýnir yfirlit yfir svæðið ásamt borholum í kring. Rauða svæðið á myndinni sýnir fyrirhugað vinnslusvæði Landeldis.

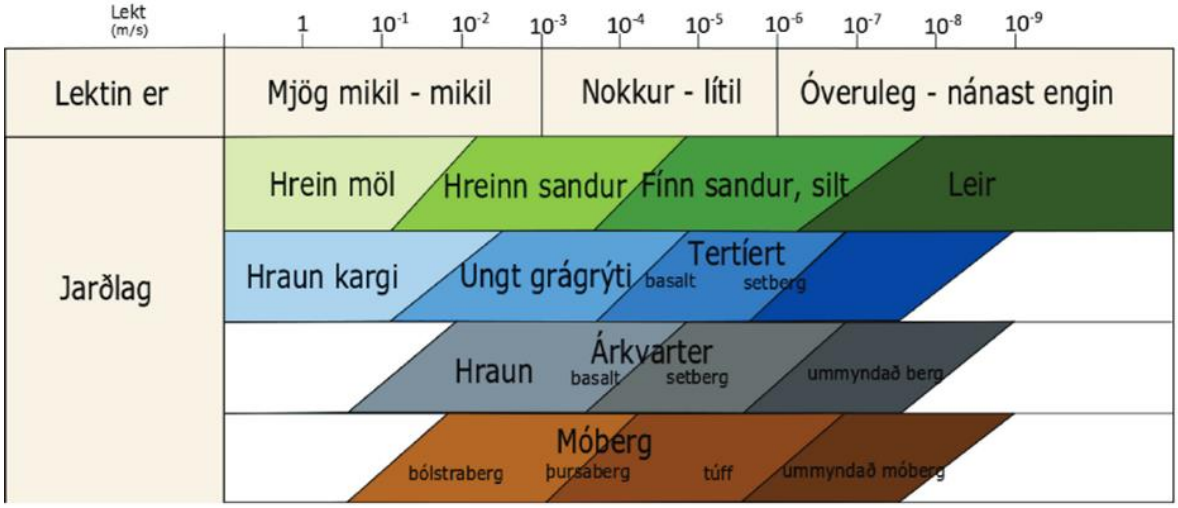


Mynd 1. *Yfirlitsmynd yfir vinnslusvæði Landeldis við Þorlákshöfn. Á myndina eru merktar inn rannsóknarholur, sjóholur og ferskvatnsholur í grennd við Þorlákshöfn.*

2.1 Vatnafar á svæðinu

Á Reykjanesskaga rennur allt vatn til sjávar sem grunnvatn, engir lækir renna í sjó innan frá Hafnarfirði, út um skagann og allt austur til Ölfusár, að undanskildu afrennsli Hlíðarvatns. Saltblandað eða ferskt grunnvatnslag liggur ofan á jarðsjó á Reykjanesskaga og austur fyrir Þorlákshöfn. Grunnvatnið á rætur sínar að rekja til úrkomu sem fallið hefur á landið og sigið niður í jörð en jarðsjórinn kemur frá úthafi. Mismunandi eðlisþyngd veldur því að ferska og léttara grunnvatnið flýtur ofan á hinum þyngri jarðsjó. Mörk jarðsjávar og ferska grunnvatnsins eru ekki skörp og myndast blandlag af missöltu grunnvatni milli þeirra. Þetta eru mjög sérstakar aðstæður sem finnast einna helst á jarðsögulega ungum úthafseyjum. (Freysteinn Sigurðsson, 1985; Þórólfur H. Hafstað o.fl., 2018).

Jarðlög geta haft margbreytilega vatnafarslega eiginleika. Vatn getur streymt í jarðlögum eins og ungu hrauni, sprungnu bergi eða í opnum sprungum. Eiginleiki jarðlaga til að veita vatni er kallaður lekt (e. permeability) (Freysteinn Sigurðsson og Jón Ingimarsson, 1990) en í grunnvatnsfræðum er oftast notast við vatnsleiðni (e. hydraulic conductivity) sem er háð eðlismassa og seigju grunnvatnsins ásamt lekt jarðlaga Á mynd 2 má sjá hvernig vatnsleiðni jarðlaga er flokkuð.



Mynd 2. *Dæmi um vatnsleiðni flokka fyrir nokkur jarðlög sem finnast á Íslandi. Hér er átt við vatnsleiðni [m/s] en ekki lekt [m²]. (Byggt á Freysteini Sigurðssyni og Jóni Ingimarssyni, 1990.)*

Efstu 70 m jarðlaga á svæðinu eru gerðir úr lekum basaltlögum úr Heiðinni háu (Árni Hjartarson, 2007). Þau hafa runnið frá eldstöðvum á landi og út í sjó og myndað bólstraberg við snögga kælingu. Á milli hraunlaganna eru þunn lög af grunnsjávarseti. Á 70–114 m dýpi er basaltbreksía og glerkennt basalt. Neðst ber nokkuð á sandsteini (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1988). Flokkun jarðlaga með tilliti til vatnafræðilegra eiginleika getur verið frábrugðin annarri jarðfræðilegri flokkun, svo sem jarðsögulegri eða bergfræðilegri. Þétt og ósprungið bergstál í hrauni hefur aðra vatnsleiðni en opið og gropið gjalllag á botni eða yfirborði þess þó að hvort tveggja sé bergfræðilega flokkað eins. Jarðlögin sem notuð voru í grunnvatnslíkaninu voru byggð á flokkun Freysteins Sigurðssonar og Jóns Ingimarssonar (1990).

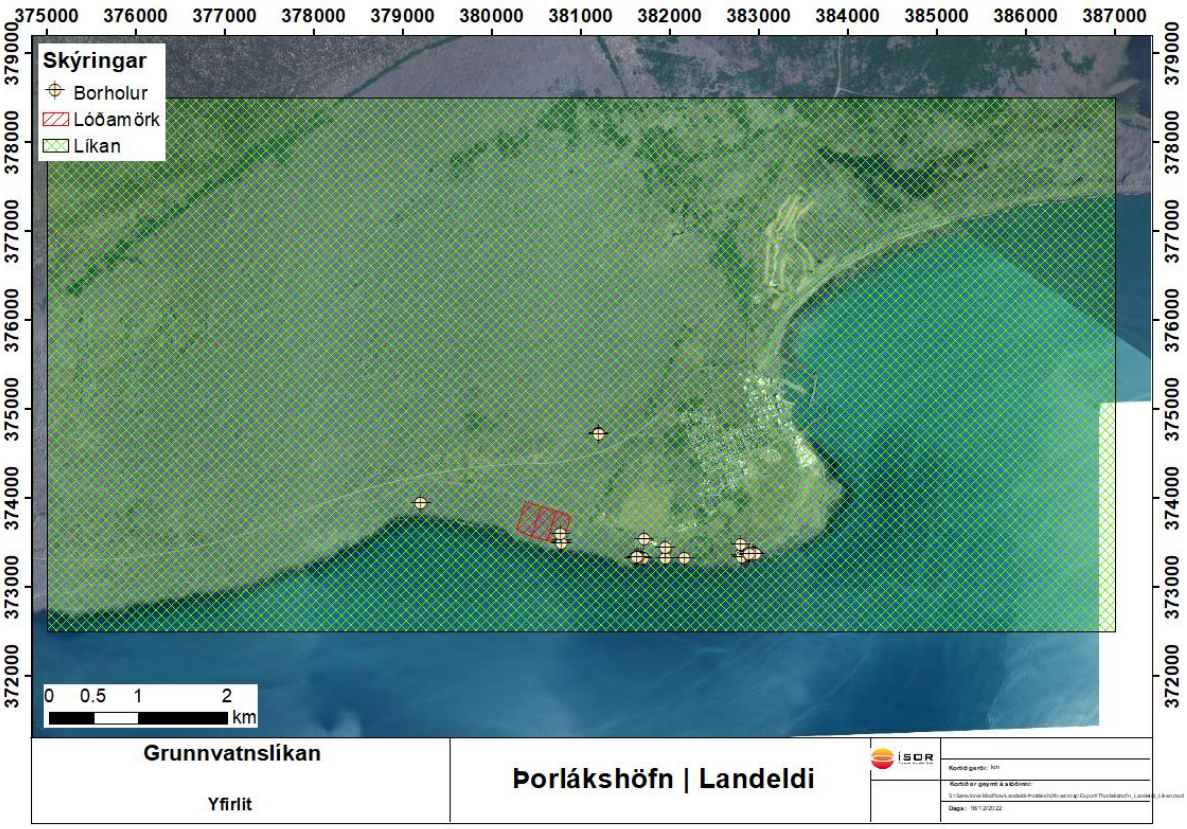
3 Líkan

Til að kanna áhrif af vatnstöku Landeldis við Þorlákshöfn var sett upp grunnvatnslíkan fyrir svæðið. Líkanið var gert í grunnvatnsherminum MODFLOW (Langevin o.fl., 2017; 2022) og GMS. Líkanið var byggt á svipuðu líkani fyrir Stað við Grindavík (Kjartan Marteinsson o.fl., 2021).

Grunnvatn á Reykjanesskaga skiptist almennt í ferskt grunnvatn, saltan jarðsjó og síðan blandlag með breytilegri seltu. Til að herma slíka dreifingu á seltu var MODFLOW 6 notað, sem styður líkön með breytilegri seltu. Í þessum kafla verður greint frá uppsetningu líkansins og kvörðun þess við mæld gögn frá svæðinu.

3.1 Uppsetning

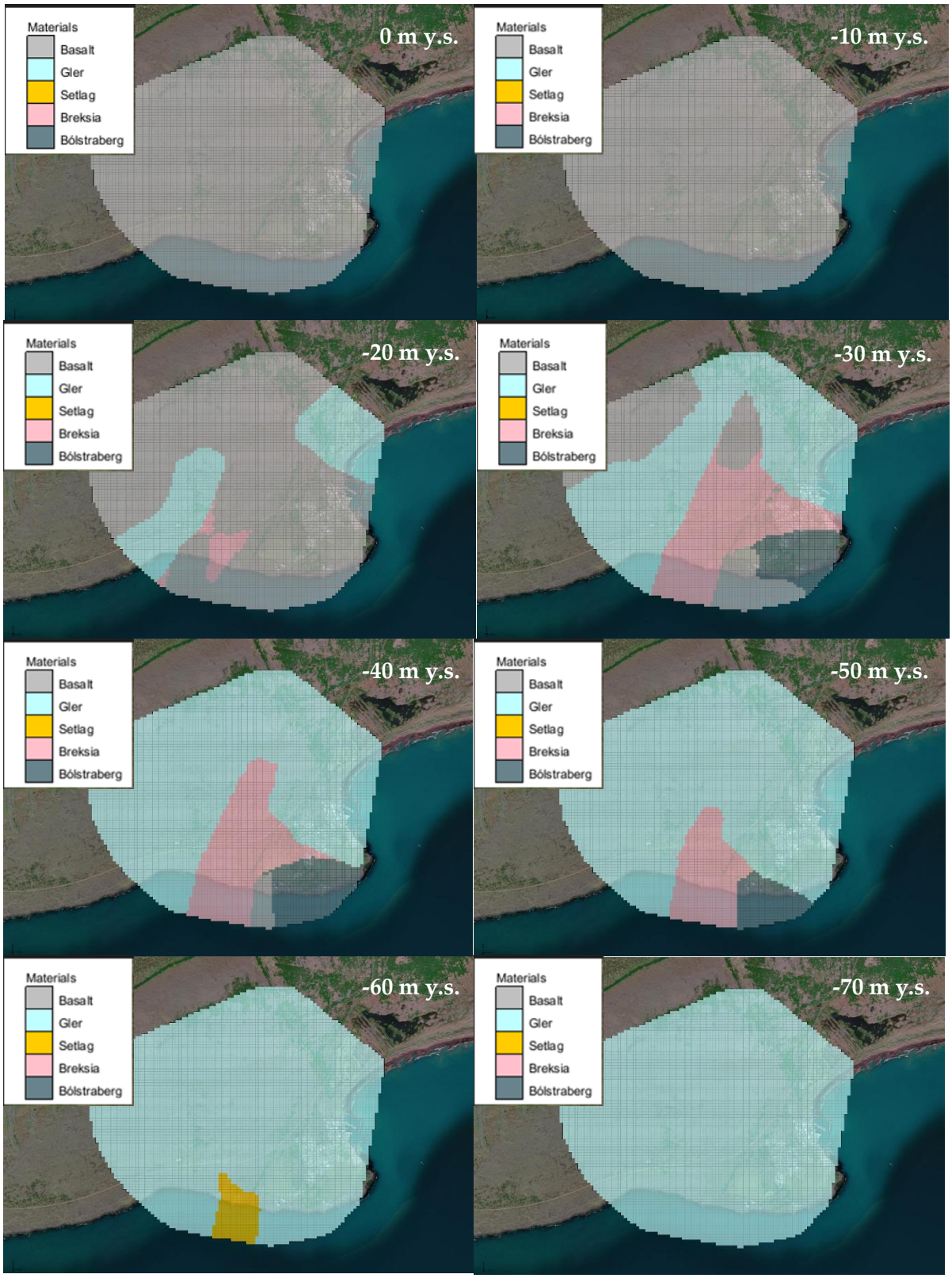
Mynd 3 sýnir hvernig grunnvatnslíkanið liggur á svæðinu. Á myndinni er vatnstökusvæði Landeldis einnig merkt inn en lega líkansins var valin þ.a. það svæði lenti í miðju þess. Líkanið er 12000 m á breidd og 6000 m á lengd. Lóðrétt nær líkanið frá yfirborði og niður í 150 m undir sjávarmáli. Staðsetning efsta lagsins í líkaninu fylgir hæð landsins, og var notað hæðarlíkan úr gagnagrunni landupplýsinga hjá ÍSOR til að meta hæð á hverjum stað (Landmælingar Íslands, 2016).



Mynd 3. *Yfirlit yfir það svæði sem grunnvatnslíkanið nær yfir.*

Líkaninu er skipt upp í 600 x 300 x 31 kubba. Líkanið hefur 31 lag lóðrétt niður en hvert lag er með sömu láréttu skiptinguna. Fyrir utan efsta lagið er hver kubbur að stærð 20 m x 20 m x 5 m en þykkt kubba í efsta lagi líkansins er breytileg eftir hæð landsins. Kubbar sem lentu alfarið í sjó eru óvirkir í líkaninu, þ.e.a.s. ekkert grunnvatnsflæði er reiknað í þeim kubbum.

Hverjum kubbi var gefin ákveðin vatnsleiðni sem er háð lekt jarðlagsins á hverjum stað. Þessi vatnsleiðni var í upphafi metin út frá jarðfræði á svæðinu (mynd 4) sem og út frá meðal-vatnsleiðni mismunandi grunnvatnsjarðlaga á Íslandi (Steinunn Hauksdóttir o.fl., 2021). Öll jarðlög fyrir neðan -70 m y.s. eru talin vera glerjuð.



Mynd 4. *Jarðlagaskipting á hluta grunnvatnslíkansins fyrir mismunandi dýpi.*

Talið er að mesta vatnsleiðnin á svæðinu væri í lögum af grófkorna, fersku basalti og bólstrabergi sem liggja á u.þ.b. 2–70 m dýpi (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1988). Þar á eftir væri vatnsleiðni tiltölulega há í glerkenndu, samlímdu bólstrabergslagi á 78–114 m dýpi. Lag úr bólstrabrotabergi sem liggur yfir hluta svæðisins var talið hafa tiltölulega lága vatnsleiðni og setlag með skeljum og kísilríku efni var skilgreint sem lag sem lítið sem ekkert flæðir í gegnum.

Ekki var gerður greinarmunur á vatnsleiðni eftir láréttri stefnu. Lóðrétt vatnsleiðni var talin lægri en lárétt vatnsleiðni en slíkt var nauðsynlegt fyrir myndum lagskiptingar í seltu í líkaninu.

Þrjár gerðir jaðarskilyrða eru til staðar í líkaninu. Kubbar tengdir við sjó, þ.e. strandkubbar, voru látnir hafa tengingu við óendanlegan geymi af sjó. Eðlisþyngd sjávar er meiri en eðlisþyngd ferskvatns og því hækkar þrýstingurinn í geyminum hraðar en í tengdum kubbum. Þetta veldur því að ferskvatn rennur út í sjó í efri lögum líkansins en sjór flæðir inn í neðri hluta líkansins. Í efsta lagi líkansins eru kubbar í jaðrinum til norðurs tengdir við óendanlega geyma af misfersku vatni. Þrýstingur, og þá flæði, í og úr geymunum fer eftir vatnsborði á hverjum stað. Vatnsborð í hverjum geymi var metið út frá mældu vatnsborði í nærliggjandi holum. Almennt hækkar vatnsborð í geymunum til norðurs, inn í land, svo helsta innflæði af ferskvatni kemur þaðan. Aðrir jaðrar eru lokaðir, þ.e.a.s. ekkert vatn flæðir inn né út úr líkaninu í þeim kubbum. Ásamt þessum jaðarskilyrðum er flæði af ferskvatni niður í gegnum efsta lag líkansins til að herma áhrif rigningar á svæðið.

3.2 Kvörðun

Nauðsynlegt er að kvarða grunnvatnslíkanið svo það lýsi sem best raunverulegri hegðun kerfisins. Kvörðun felur í sér samanburð á niðurstöðum líkansins fyrir mismunandi hermanir við mælingar af svæðinu, og breytingum á gildum á vatnsleiðni og jaðarskilyrðum í líkaninu til að auka nákvæmni þess. Mælingum á svæðinu var skipt í tvo hluta, þeim sem lýsa náttúrulegu ástandi kerfisins og þeim sem lýsa áhrifum vinnslu á kerfið.

Með náttúrulegu ástandi er átt við ástand kerfisins áður en vinnsla hófst. Mikilvægt er að líkanið geti hermt slíkt ástand svo hægt sé að meta áhrif vinnslu grunnvatns. Kvörðun líkansins við núverandi vinnslu á svæðinu eykur síðan nákvæmni líkansins á hermun vinnslubreytinga á svæðinu.

Notast var við borskýrslur og mælingar úr borholum. Tafla 1 sýnir gildi fyrir vatnsleiðni fyrir lokakvörðun líkansins.

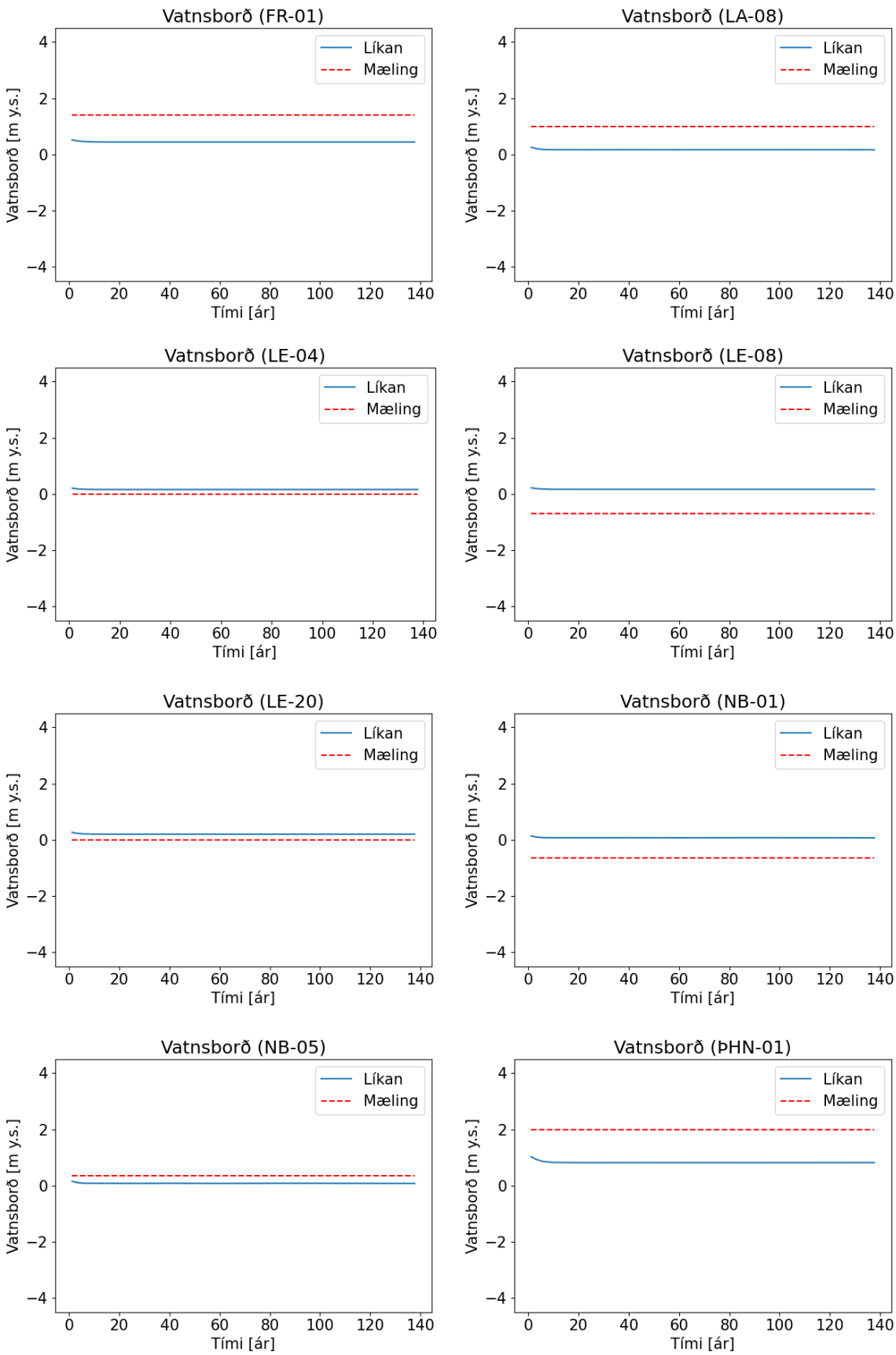
Tafla 1. *Vatnsleiðni fyrir mismunandi jarðlög í grunnvatnslíkaninu.*

Jarðlag	Vatnsleiðni [m/s] Lárétt	Vatnsleiðni [m/s] Lóðrétt
Basalt	2×10^{-2}	5×10^{-6}
Breksía	8×10^{-3}	1×10^{-5}
Setlag	1×10^{-4}	3×10^{-7}
Gler	1×10^{-2}	2×10^{-5}
Bólstraberg	5×10^{-2}	8×10^{-5}

3.2.1 **Náttúrulegt ástand**

Til að áætla náttúrulegt ástand kerfisins var notast við mælingar á grunnvatnsborði og seltu í borholum á svæðinu (Heimir Ingimarsson o.fl., 2021; Kristján Sæmundsson og Björn A. Harðarson, 1988; Freysteinn Sigurðsson og Þórólfur H. Hafstað, 1995; Björn Jóhann Björnsson, 1977; Þórólfur H. Hafstað, 2012). Líkanið var látið herma svæðið með engri vinnslu í 100 ár og var staða kerfisins í lok þess tíma borin saman við mælingar.

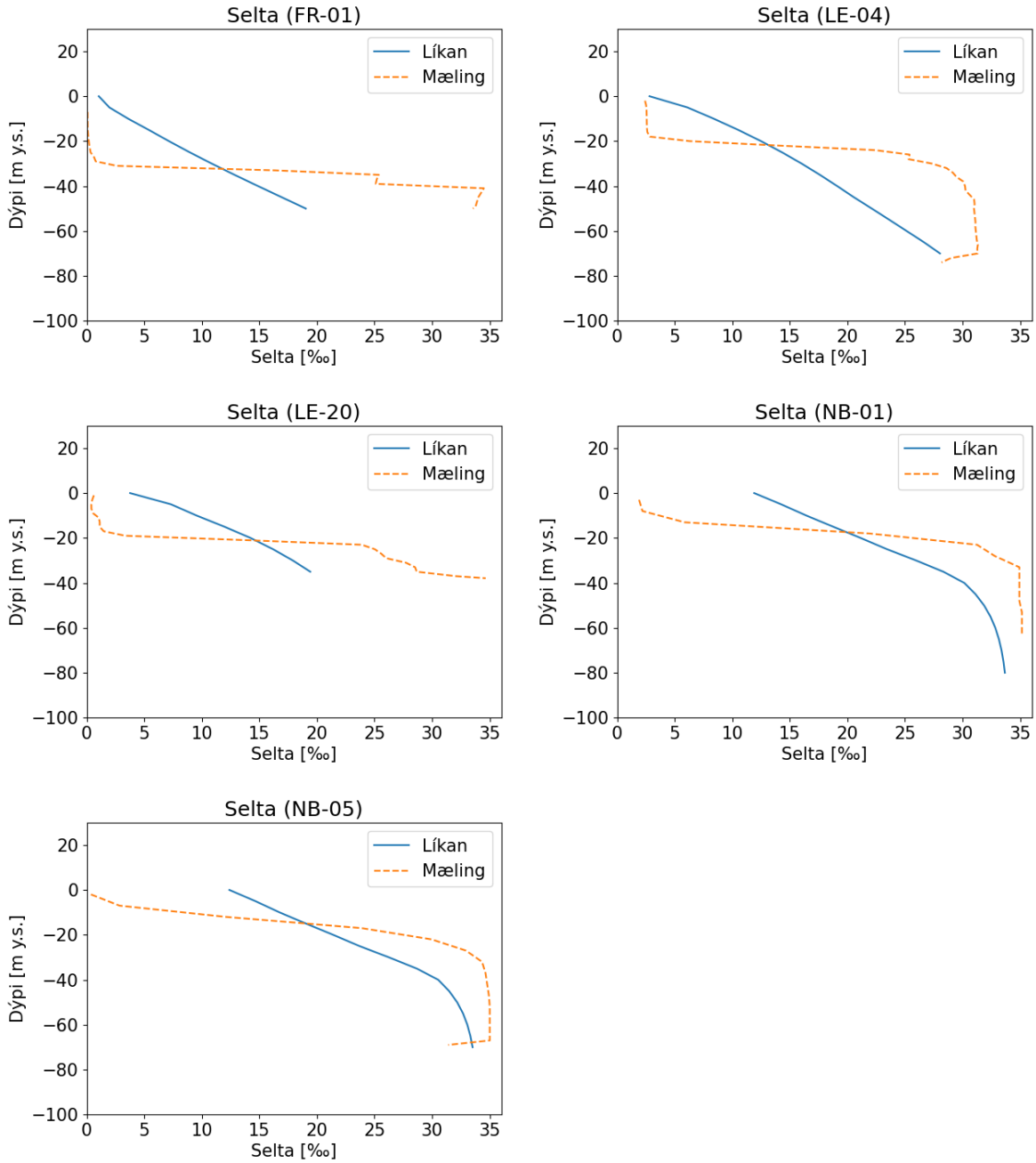
Mælt og hermt vatnsborð á völdum borholum var borið saman. Mynd 5 sýnir þann samanburð fyrir kvarðaða líkanið. Hér eru sýndar þær borholur sem eru taldar hafa þau vatnsborð sem eru best ákvörðuð. Sýnt vatnsborð má túlka sem meðalvatnsborð á svæðinu þar sem líkanið hermdi ekki áhrif sjávarfalla. Mælt vatnsborð er meðalvatnsborð fengið úr mælingum úr holunum, án tillits til flóðs og fjöru. Mæld vatnsborðsbreyting vegna sjávarfalla í holum við Keflavík (FR-holur), holum á vinnslusvæði Náttúru (LA-holur), holum á vinnslusvæði Landeldis (LE-holur), holum á vinnslusvæði Laxa (LX-holur) og holum á vinnslusvæði Ísþórs (NB-holur) er talin vera um 2 m (Freysteinn Sigurðsson og Þórólfur H. Hafstað, 1995) en fyrir holur á ferskvatnssvæði Þorlákshafnar (ÞHN-holur) er breyting talin vera um 15 cm (Björn Jóhann Björnsson, 1977). Gera má ráð fyrir að óvissa á mældu meðalvatnsborði sé að svipaðri stærðargráðu og vatnsborðsbreyting vegna sjávarfalla. Af myndunum sést að fyrir allar holur, að undanskilinni ÞHN-1, er hermt vatnsborð innan við þessa skekkju frá mældu vatnsborði. Hermt vatnsborð í ÞHN-1 er innan við 1 m frá mældu vatnsborði. Á heildina virðist sem óvissa á vatnsborði aukist með fjarlægð frá sjó.



Mynd 5. *Samanburður á vatnsborði úr líkani við náttúrulegt ástand og frá mælingum fyrir valdar borholur. Mælingar eru í öllum tilvikum stakt mæligildi.*

Mynd 6 sýnir samanburð á kvörðuðu líkani við mælda seltu í nokkrum borholum nálægt Þorlákshöfn. Skekkja í seltustyrk, sérstaklega í efstu lögum líkansins, er um 5 – 15‰, en er meiri nærri Þorlákshöfn. Nærri vinnslusvæði Ísþórs er selta á yfirborði of mikil, talið er skekkjan þar á seltu sé um 10‰. Á vinnslusvæði Landeldis, í holum LE-4 og LE-20, er grunnvatnslinsan einnig of lítil, þó vatn sé ferskt við yfirborð. Dreifing seltu í líkaninu telst ásættanleg, með þeim fyrirvara að selta við yfirborð sunnan við Þorlákshöfn er of mikil.

Á heildina litið hermir líkanið náttúrulega ástandið ásættanlega.



Mynd 6. *Samanburður á dreifingu seltu með dýpi úr líkani við náttúrulegt ástand og frá mælingu úr völdum borholum.*

3.2.2 Núverandi vinnsla

Til að athuga svörun líkansins af vinnslu af svæðinu voru annars vegar notuð gögn frá dæluprófi sem gert var í ferskvatnsholunni ÞHN-1 (Björn Jóhann Björnsson, 1977) og hins vegar gögn frá vinnslu jarðsjávar á svæði Landeldis (gögn fengin frá Landeldi). Líkanið var látið herma dælingu sem samsvarar því sem gerð var grein fyrir í gögnunum og áhrifin borin saman við mæld gildi.

Hermd voru gildi úr dæluprófi sem gert var í holu ÞHN-1 árið 1975, stuttu eftir borun hennar. Í prófinu var 0 – 52,4 L/s dælt úr holunni og niðurdráttur í holunum OH-1, OH-2 og OH-3 mældur. Þessar eftirlitsholur voru staðsettar rétt fyrir sunnan holu ÞHN-1. Engin markverður niðurdráttur mældist í eftirlitsholunum við þetta dæluþróf en við mestu dælingu var vatnsborðsniðurdráttur í ÞHN-1 um 90 cm. Til að herma þetta dæluþróf var 50 L/s dælt úr holu ÞHN-1 og vatnsborðsniðurdráttur í OH-1 athugaður. OH-1 er holan sem er næst ÞHN-1, og því ætti mestur niðurdráttur að koma fram í henni. Hermun sýndi minna en 10 cm niðurdrátt í OH-1 vegna 50 L/s dælingar úr ÞHN-1. Niðurdráttur í holunni telst því ekki markverður. Það passar við mælingar sem gerðar voru á vatnsborði holunnar á meðan dæluprófið stóð yfir. Óveruleg selta, innan við 5‰, var í vatninu sem dælt var úr ÞHN-1 í hermun dæluprófsins, sem er talið vera innan skekkjumarka miðað við gögn um seltu vatns úr holunni.

Einnig var hermd vinnsla úr núverandi vinnsluholum Landeldis á svæðinu. Notast var við upplýsingar frá Landeldi um dælingu úr sjóholum á svæðinu en meðalvinnsla í ágúst 2022 á svæði Landeldis var um 220 L/s. Einnig voru notuð gögn um vatnsborð í eftirlitsholunni LE-20 yfir sama tímabil en ekki mældist markverð breyting á meðalvatnsborði í holunni yfir þennan tíma. Til að herma þessa vinnslu var 220 L/s dælt upp úr svæðinu, úr holum LE-8, LE-9 og LE-14, yfir ár. Vatnsborðsniðurdráttur í eftirlitsholunni LE-20 er undir 10 cm samkvæmt líkaninu og telst því ekki markverður.

Í báðum tilfellum virðist kvarðað líkan herma gögnin vel.

4 Hermun

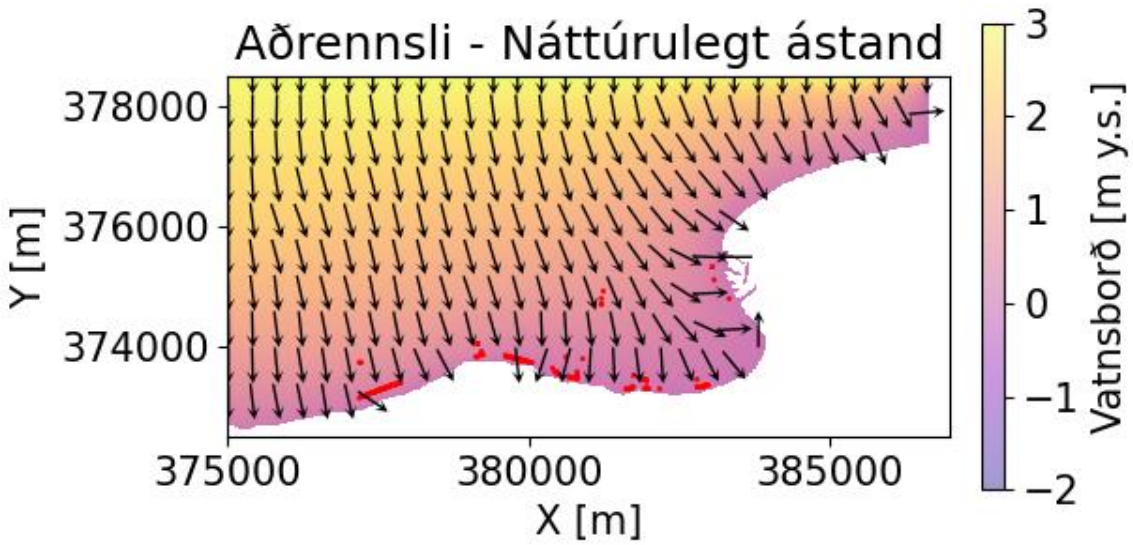
Kvarðað líkan var látið herma nokkrar sviðsmyndir fyrir vatnstöku. Fyrst var hermt eftir náttúrulegu ástandi svæðisins, þ.e.a.s. ef engin vinnsla er til staðar. Þar á eftir er líkanið látið herma nálgun á núverandi og aðra framtíðar vatnstöku nálægt Þorlákshöfn. Loks voru hermd þrjú tilvik fyrir framtíðarvinnslu Landeldis af svæðinu og áhrif slíkrar vinnslu á svæðið könnuð. Fyrir öll framtíðarvinnslutilvik var náttúrulegt ástand og önnur vinnsla hermd áður en framtíðarvinnsluhermun var gerð, þ.e., fyrst var náttúrulegt ástand kerfisins hermt í ~100 ár, síðan var önnur vinnsla hermd í 1 ár og loks var ákveðin framtíðarvinnsluaukning á svæði Landeldis hermd. Þannig notaði hermun á annarri vinnslu niðurstöður hermunar af náttúrulegu ástandi kerfisins sem byrjunarpunkt og hermun framtíðarvinnslu notaðist við niðurstöður hermunar á annarri vinnslu sem byrjunarpunkt.

4.1 Náttúrulegt ástand

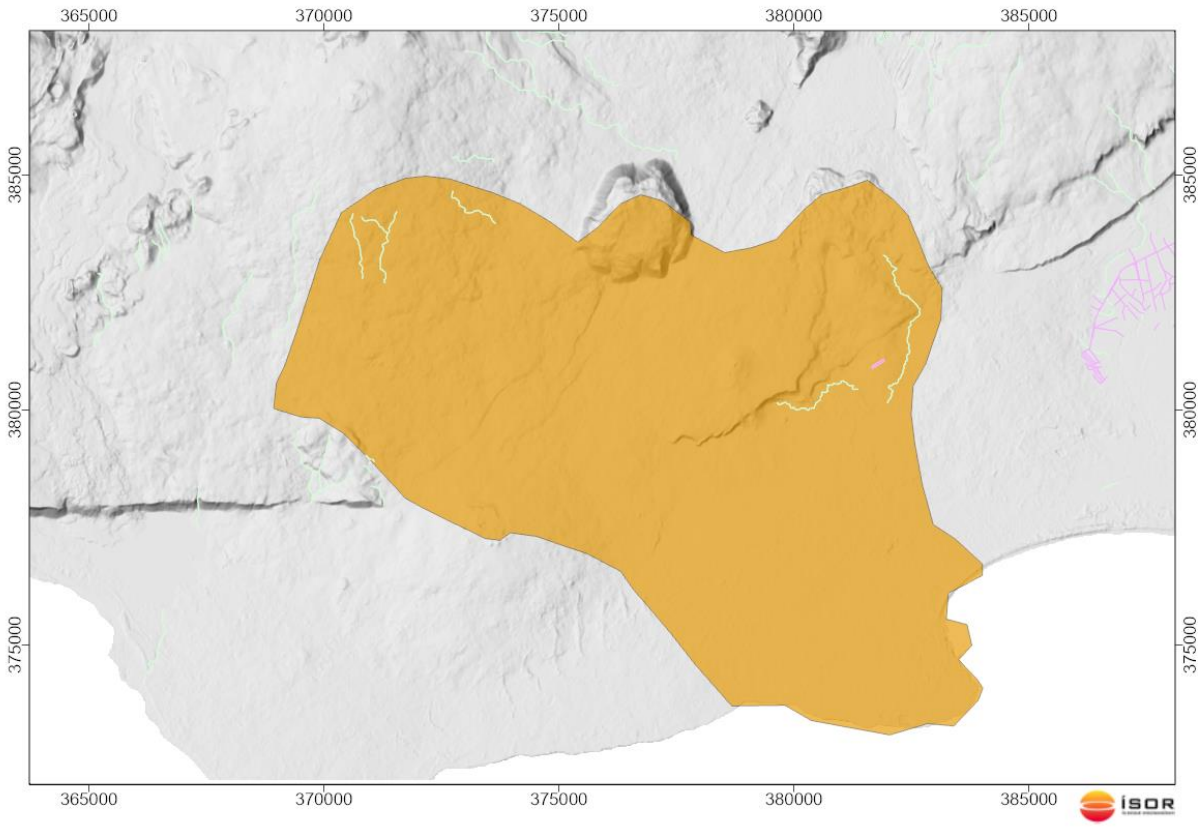
Til að meta náttúrulegt ástand kerfisins var líkanið látið herma svæðið í ~100 ár, eða þar til vatnsborð, flæði og selta náði sem næst jafnvægi. Nákvæmur styrkur á seltu á ákveðnum stöðum í líkaninu gat breyst lítillega milli tímaskrefa, jafnvel eftir 100 ár, en sú óvissa virtist ekki hafa markverð áhrif á niðurstöður líkansins.

Myndir 7 og 9 sýna reiknað vatnsborð og flæði á svæðinu fyrir náttúrulegt ástand. Af myndunum sést að vatnsborð hækkar til norðurs og er mest um 2–3 m y.s. (metrar yfir sjávarmáli), inn til lands. Í grófum dráttum er stefna vatns við vatnsborð á svæðinu í N-S stefnu, þ.e.a.s. vatn streymir af landi niður í sjó. Á mynd 8 sést áætlað aðrennslissvæði fyrir ferskvatn á líkanasvæðinu.8

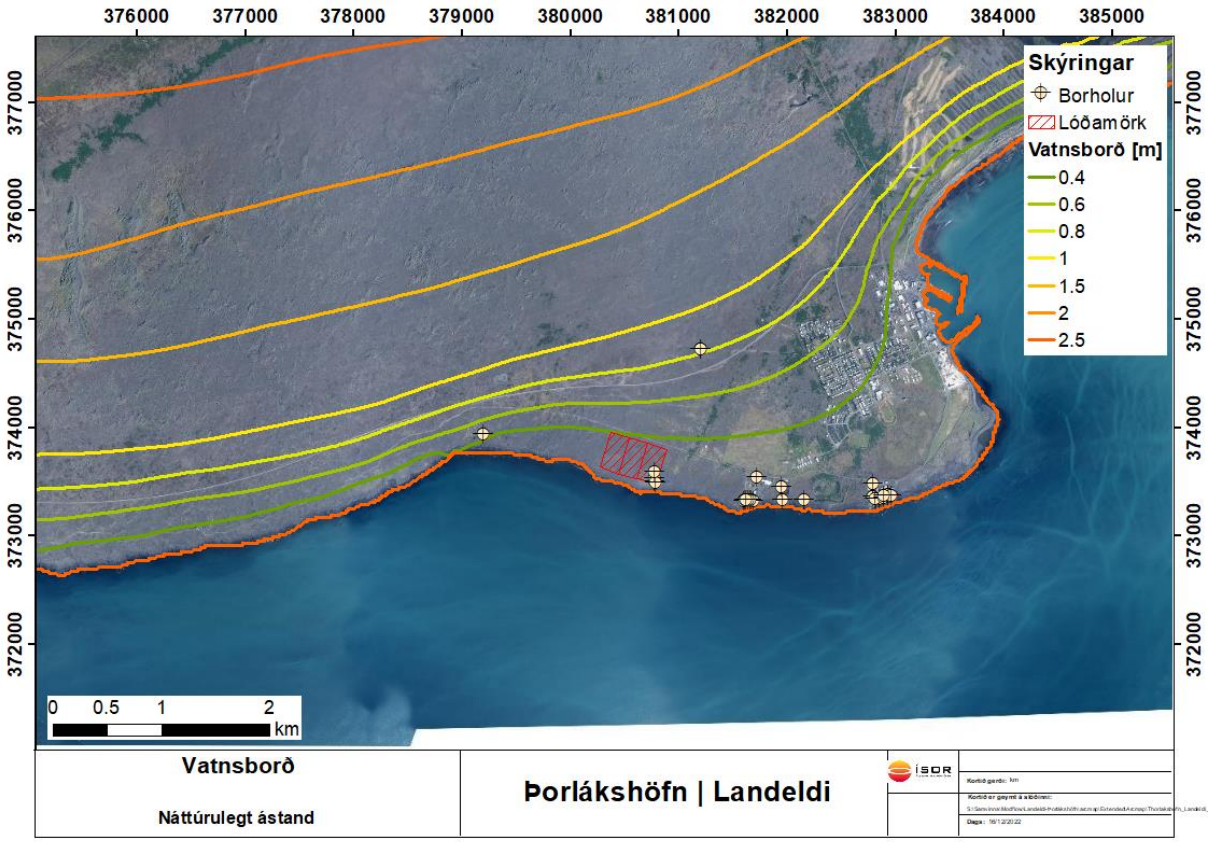
Mynd 10 sýnir dreifingu seltu í líkaninu fyrir mismunandi dýpi. Einnig má sjá nokkur þversnið (mynd 11) af dreifingu seltu á svæðinu á mynd 12. Af myndunum sést að ferskvatnslinsan er þynnst næst sjónum, og þykknar inn til lands í norður. Fulltsaltur sjór er við yfirborð sunnan Þorlákshafnar, og er selta við yfirborð tiltölulega há sunnan og suðvestur af Þorlákshöfn. Seltan á þessu svæði er trúlegast ofmetin, svo óvissa á nákvæmri seltu, sérstaklega nálægt vinnslusvæði Ísþórs er talin há. Þykkt blandlags á svæðinu er um 20 – 40 m. Af þversniðunum má einnig sjá flæði á mismunandi dýpi í líkaninu. Þar sést að í efstu lögum líkansins er flæði vatns frá landi til sjávar. Í neðri lögum líkansins snýst flæðið við og flæðir þá sjór inn undir land. Þetta samræmist því að jarðsjór á svæðinu kemur til vegna innflæðis sjávar. Mesta flæðið er í ferskvatnsstraumnum í efstu lögum líkansins.



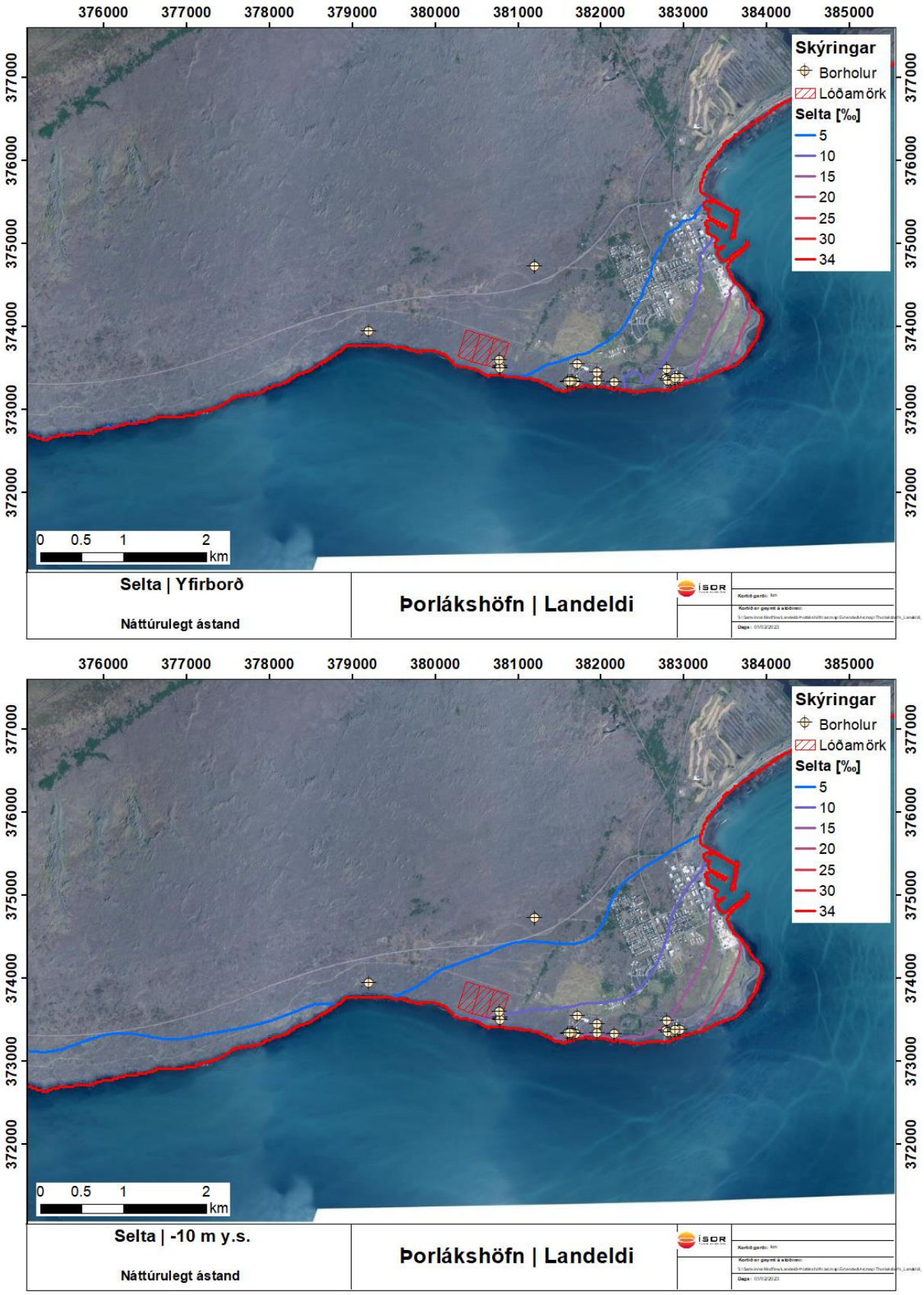
Mynd 7. *Vatnsborð (m y.s.) og grunnvatnsrennsli í efsta lagi líkansins fyrir náttúrulegt ástand kerfisins. Rauðir punktar sýna staðsetningu borholna á svæðinu.*



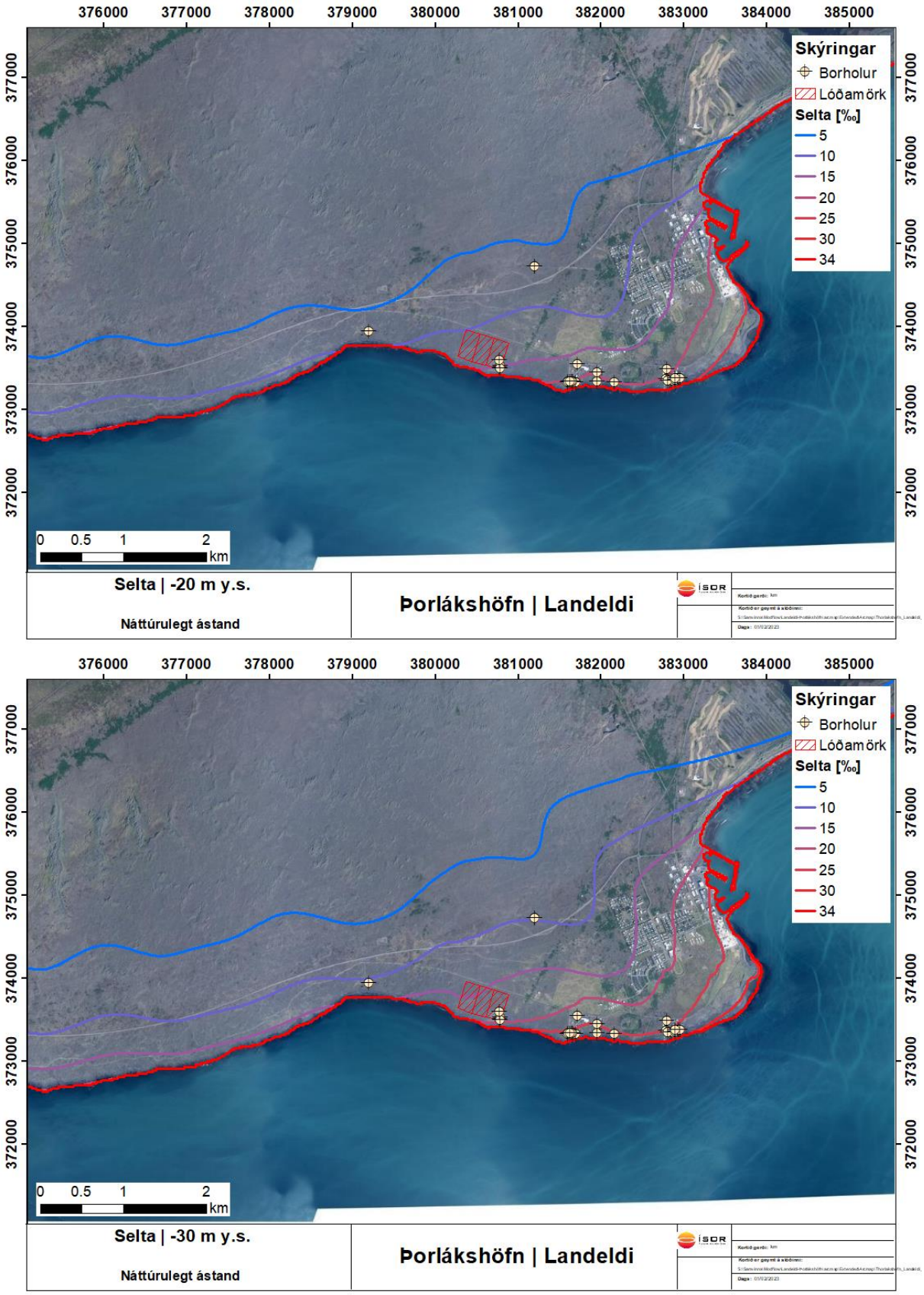
Mynd 8. *Áætlað aðrennslissvæði fersksvatns nálægt Þorlákshöfn.*



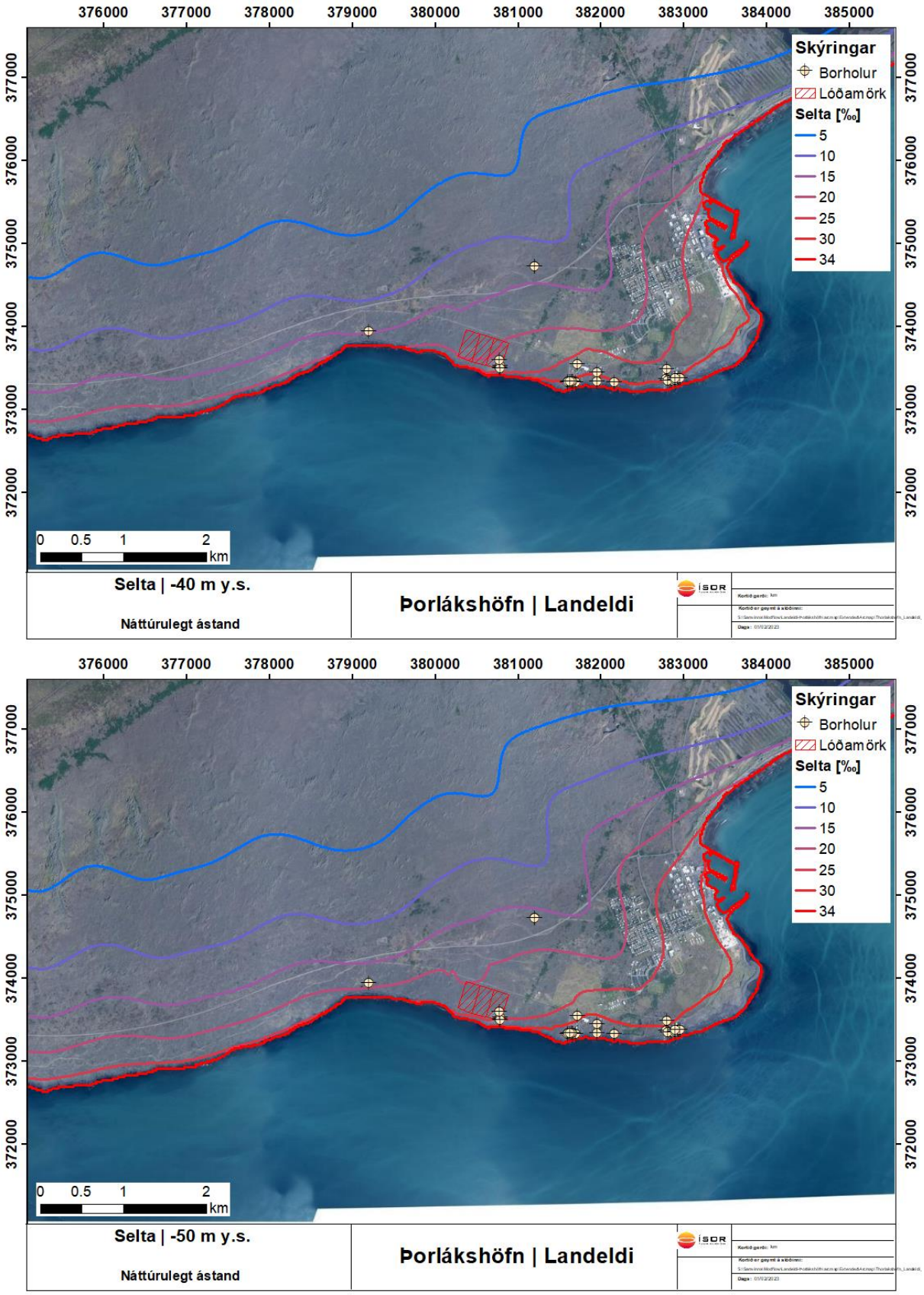
Mynd 9. *Hermt vatnsborð (m y.s.) í náttúrulegu ástandi svæðisins.*



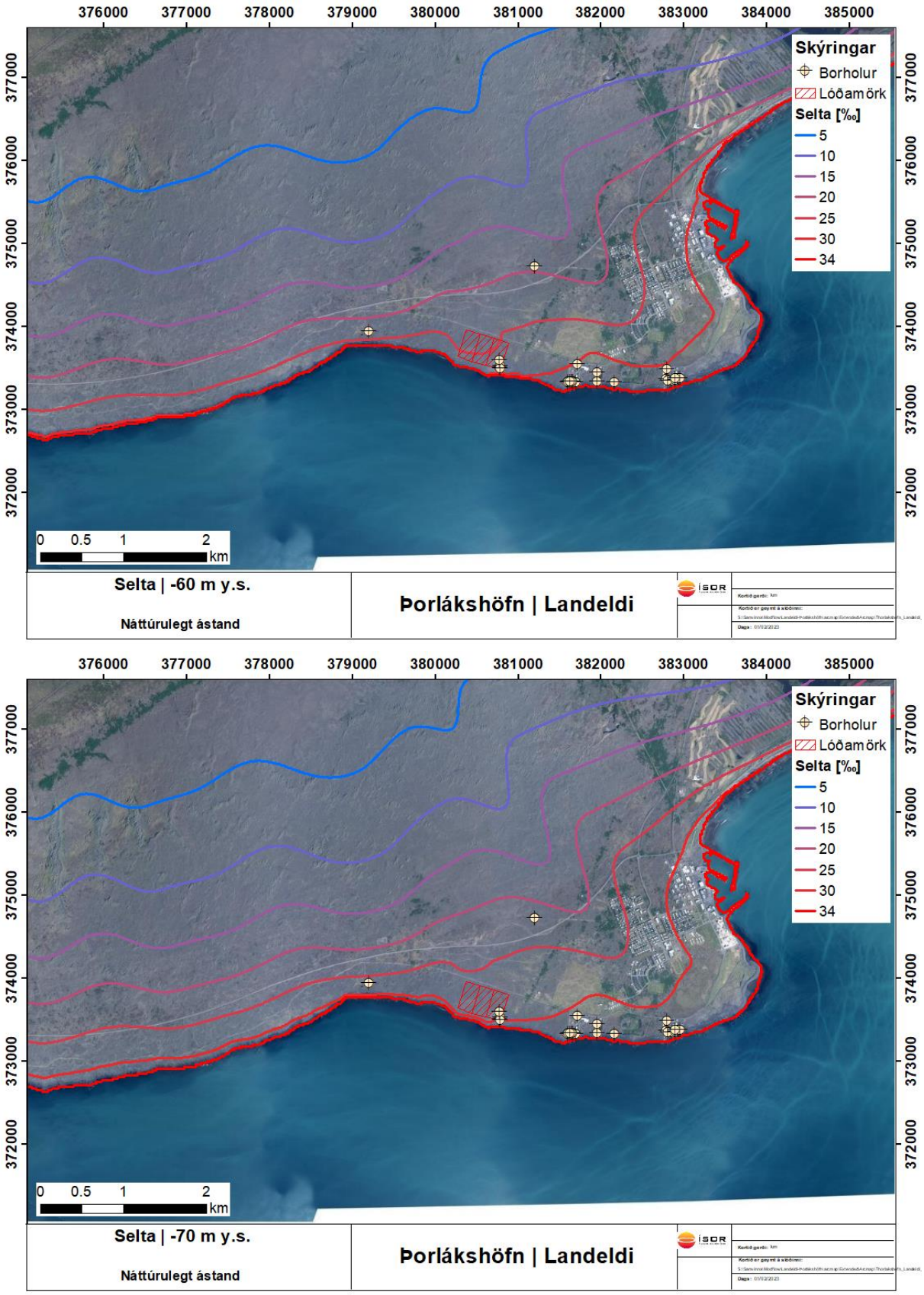
Mynd 10. *Dreifing seltu fyrir náttúrulegt ástand svæðisins fyrir mismunandi dýpi.*



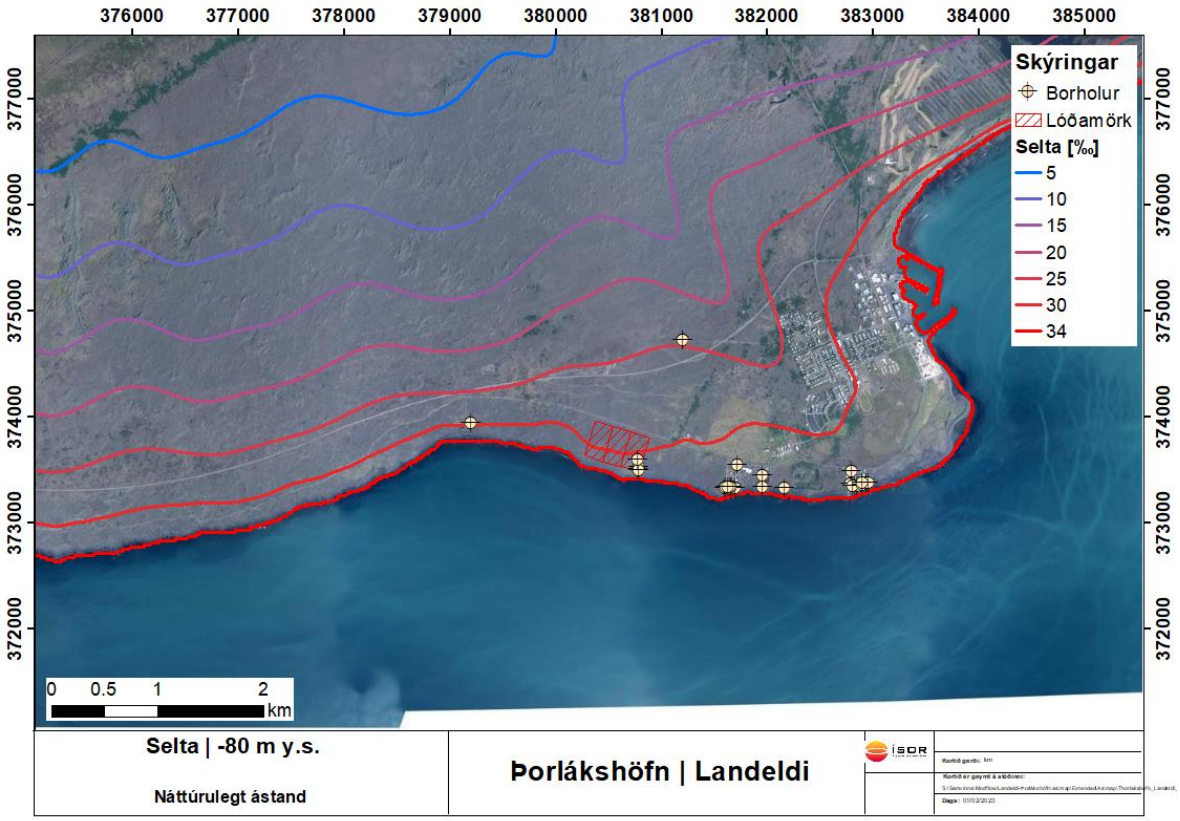
Mynd 10. *(Frh.) Dreifing seltu fyrir náttúrulegt ástand svæðisins fyrir mismunandi dýpi.*



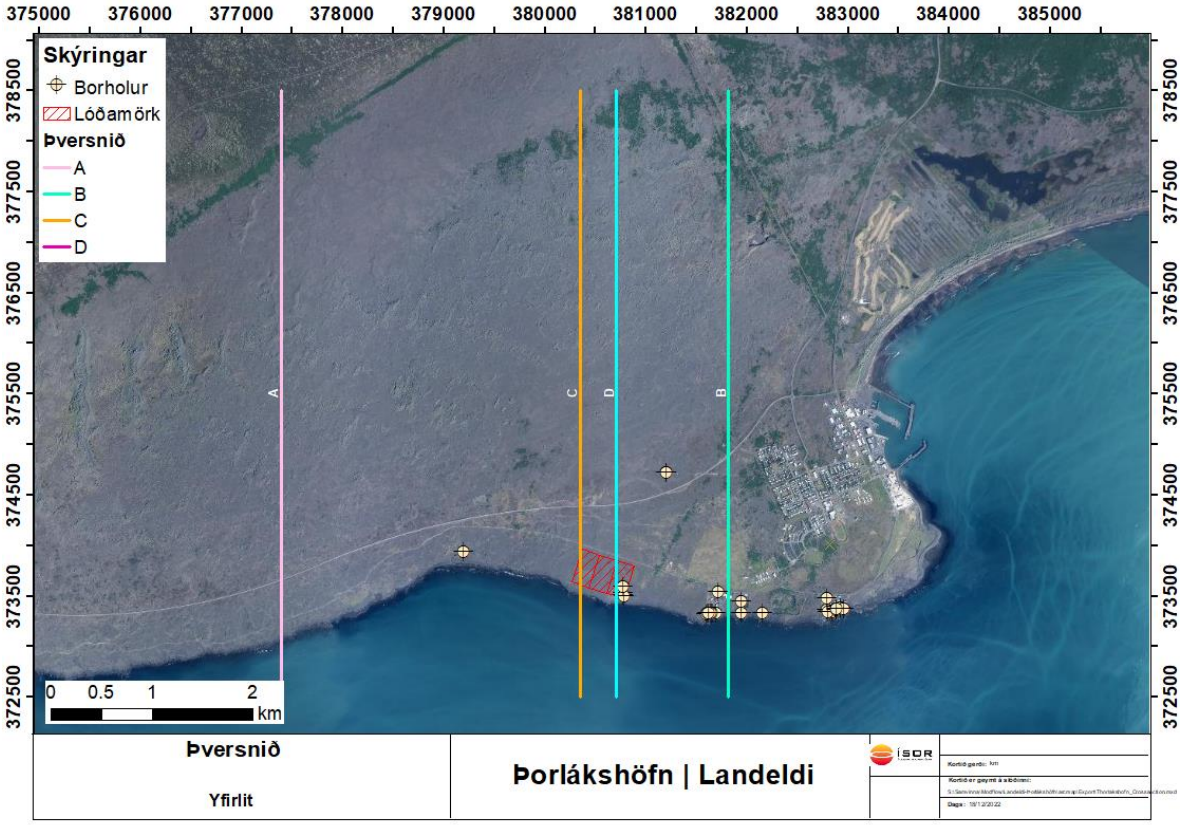
Mynd 10. *(Frh.) Dreifing seltu fyrir náttúrulegt ástand svæðisins fyrir mismunandi dýpi.*



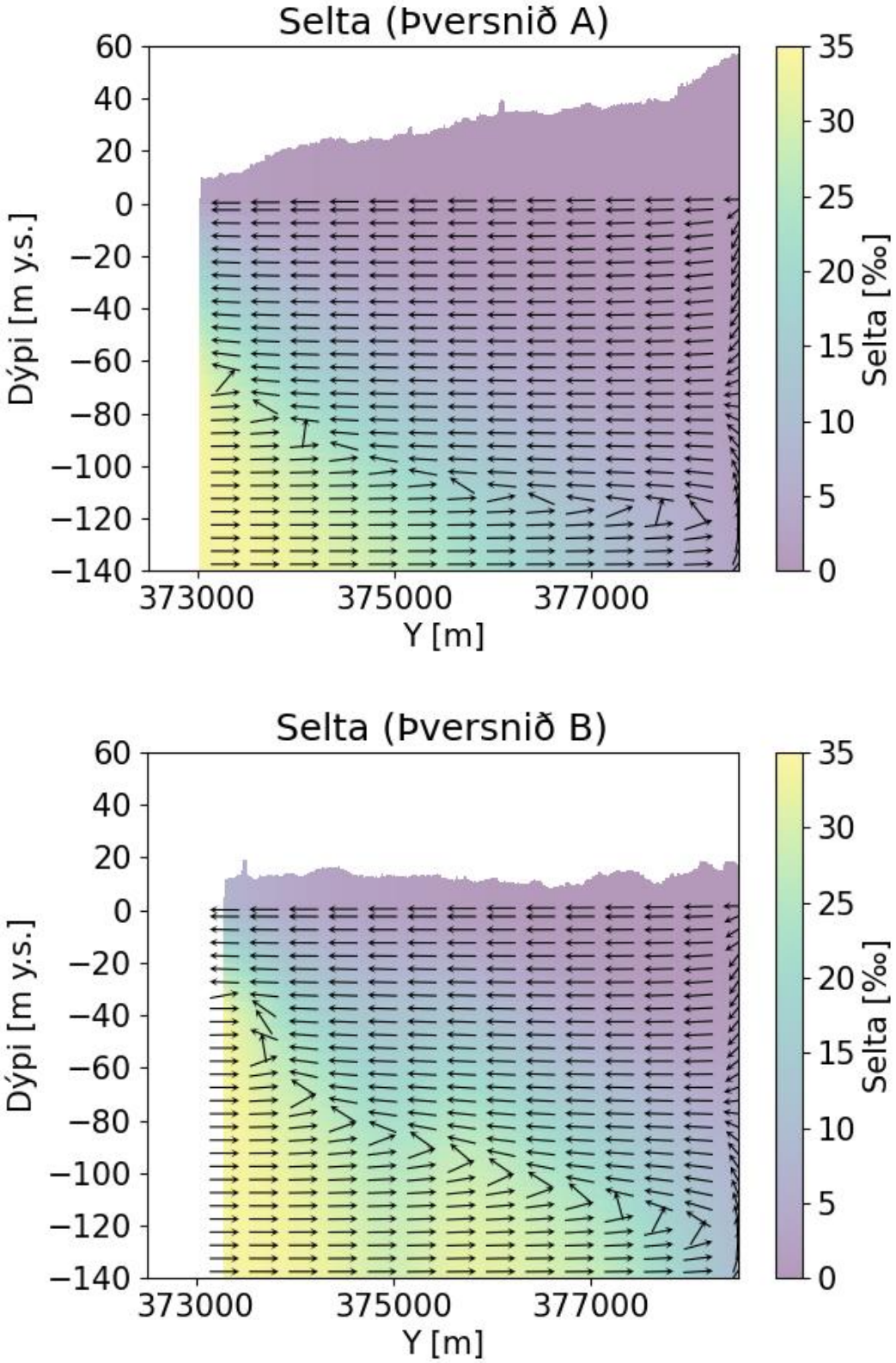
Mynd 10. *(Frh.) Dreifing seltu fyrir náttúrulegt ástand svæðisins fyrir mismunandi dýpi.*



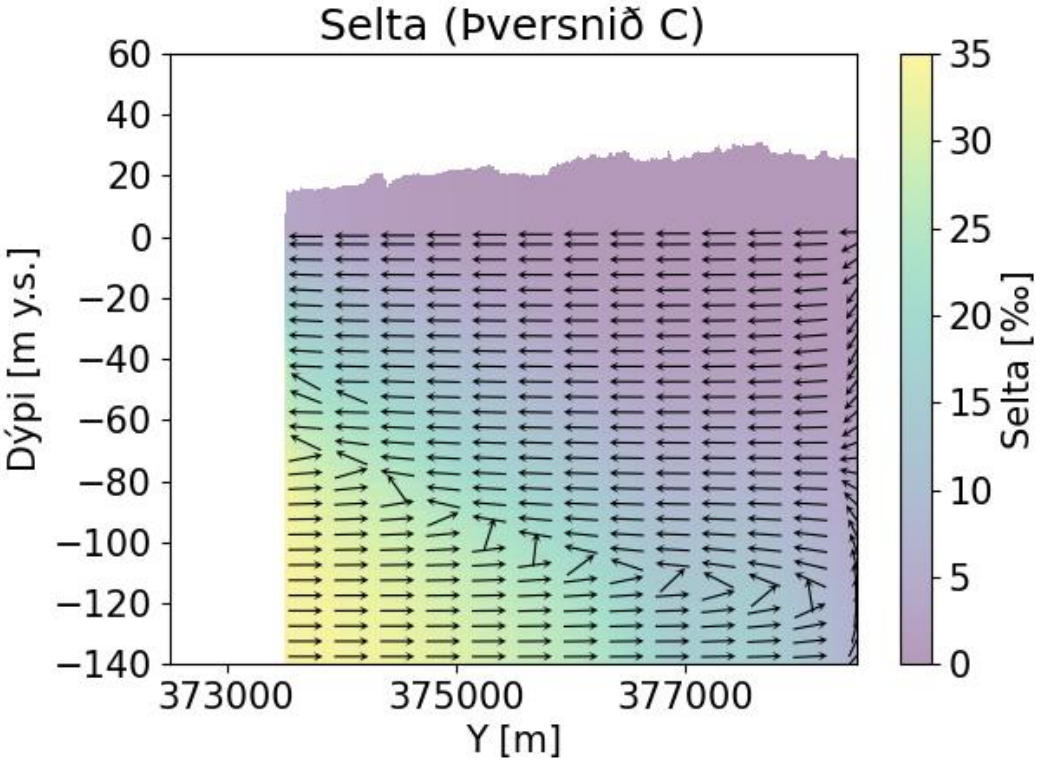
Mynd 10. *(Frh.) Dreifing seltu fyrir náttúrulegt ástand svæðisins fyrir mismunandi dýpi.*

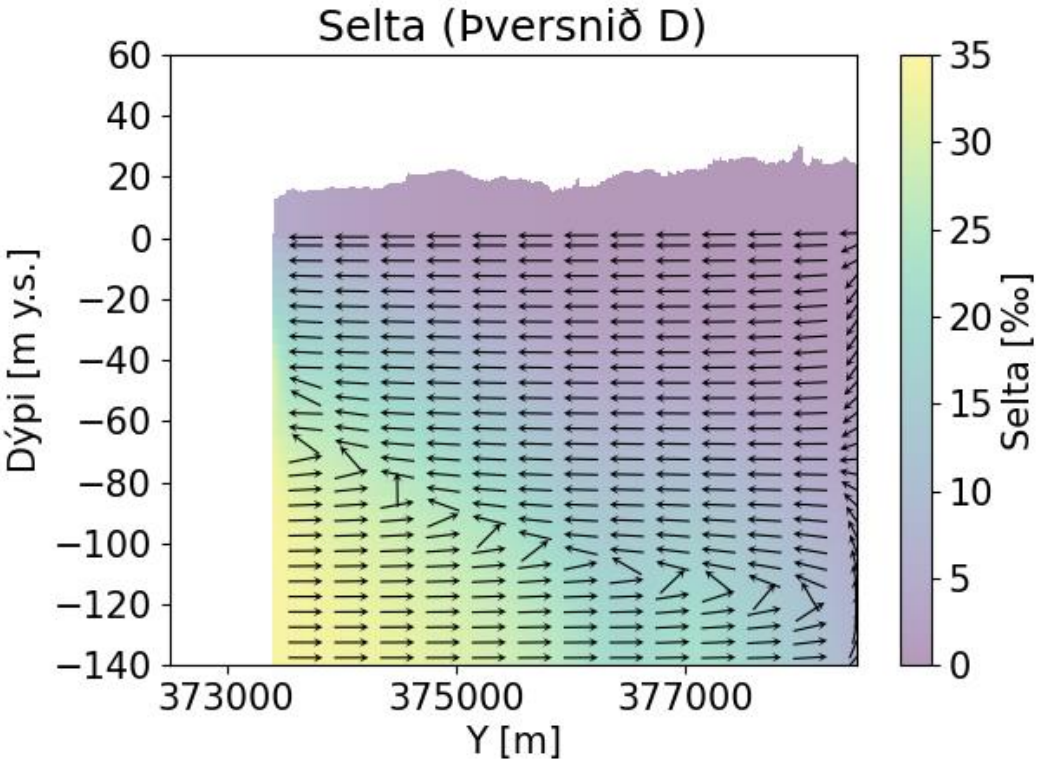


Mynd 11. *Yfirlitsmynd sem sýnir staðsetningu mismunandi þversniða í gegnum svæðið.*



Mynd 12. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi ásamt stefnu rennslis í hverju þversniði (örvar) fyrir náttúrulegt ástand. Legu þversniða má sjá á mynd 11.*





Mynd 12. *(Frh.) Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi ásamt stefnu rennslis í hverju þversniði (örvar) fyrir náttúrulegt ástand. Legu þversniða má sjá á mynd 11.*

4.2 Önnur vinnsla

Hermun framtíðarvinnslu notast við niðurstöður hermunar á (væntanlegri) annarri vinnslu á grunnvatni í grennd við Þorlákshöfn. Hermd var vinnsla á fimm mismunandi stöðum, vinnslu vegna núverandi fiskeldis Laxa, Ísþórs og Náttúru, ferskvatnstöku fyrir Þorlákshöfn og núverandi vinnslu Landeldis. Einnig var hermd framtíðar vinnsla GeoSalmo og fiskeldi Ölfuss. Ekki var hermd vinnsla Icelandic Water Holdings, en vegna staðsetninga vinnsluholna og magns vinnslu er talið að áhrif vinnslunnar, sem og áhrif Landeldis á vinnslu Icelandic Water Holdings, séu hverfandi fyrir grunnvatnslíkanið. Til að meta vinnslu frá öðrum á svæðinu var notast við tölur úr grunnvatnslíkani Vatnaskila fyrir Ísþór (Hilmar Már Einarsson o.fl., 2019) en stærð hermdrar vinnslu má sjá í töflu 2. Notast var við áætlaða framtíðarvinnslu af svæði Ísþórs til að fá sem besta mynd af samlegðaráhrifum allrar vinnslu á svæði líkansins. Vinnsla á svæðunum var dreifð á nokkrar holur en fyrir utan svæði Landeldis og Þorlákshafnar var ekki vitað með vissu hvaða holur hafa verið í vinnslu á svæðunum. Líkanið var látið herma þessa vinnslu í 1 ár en ekki var talin þörf fyrir lengri hermun þar sem svæðið náði fljótt nýju jafnvægi. Ekki var tekið tillit til árstíðabundinna sveiflna í reikningunum en gert er ráð fyrir að líkanið sýni meðalstöðu kerfisins yfir tímabilið.

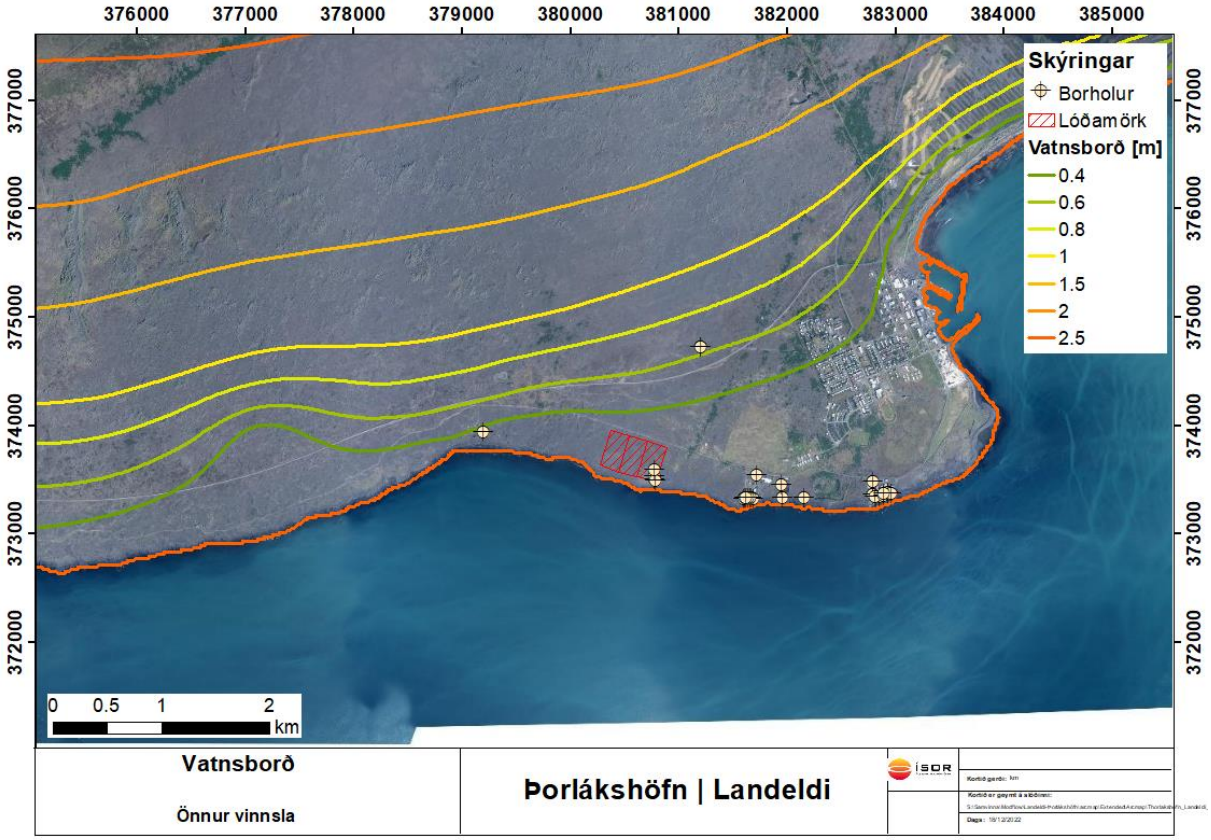
Mynd 13 sýnir stöðu vatnsborðs á svæðinu eftir 1 árs vinnslu. Ef þessi mynd er borin saman við mynd 9, sem sýnir náttúrulegt ástand, sést að vatnsborð á svæði líkansins hefur breytist vegna vinnslu. Vatnsborðið breytist nærri vinnslusvæði Laxa og Náttúru en af mynd 14 sést að þar lækkar vatnsborðið um allt að ~60 cm. Nálægt vinnslusvæði GeoSalmo hefur vatnsborðið lækkað um allt að 1 m. Á öðrum vinnslusvæðum lækkar vatnsborðið milli 0 – 20 cm.

Mynd 15 sýnir dreifingu seltu á svæðinu eftir 1 árs vinnslu. Á myndunum sést að selta hefur aukist á yfirborði nálægt vinnslusvæðum GeoSalmo, Ísþórs, Náttúru og Laxa, þ.e.a.s. ferskvatnslinsan hefur þynnst. Ferskvatnslinsan dýpkar til norðurs. Einnig hefur blandlag milli jarðsjávar og ferskvatns þynnst nærri lóð Landeldis, þ.e.a.s. grunnvatn hefur náð fullri seltu á grynnra dýpi.

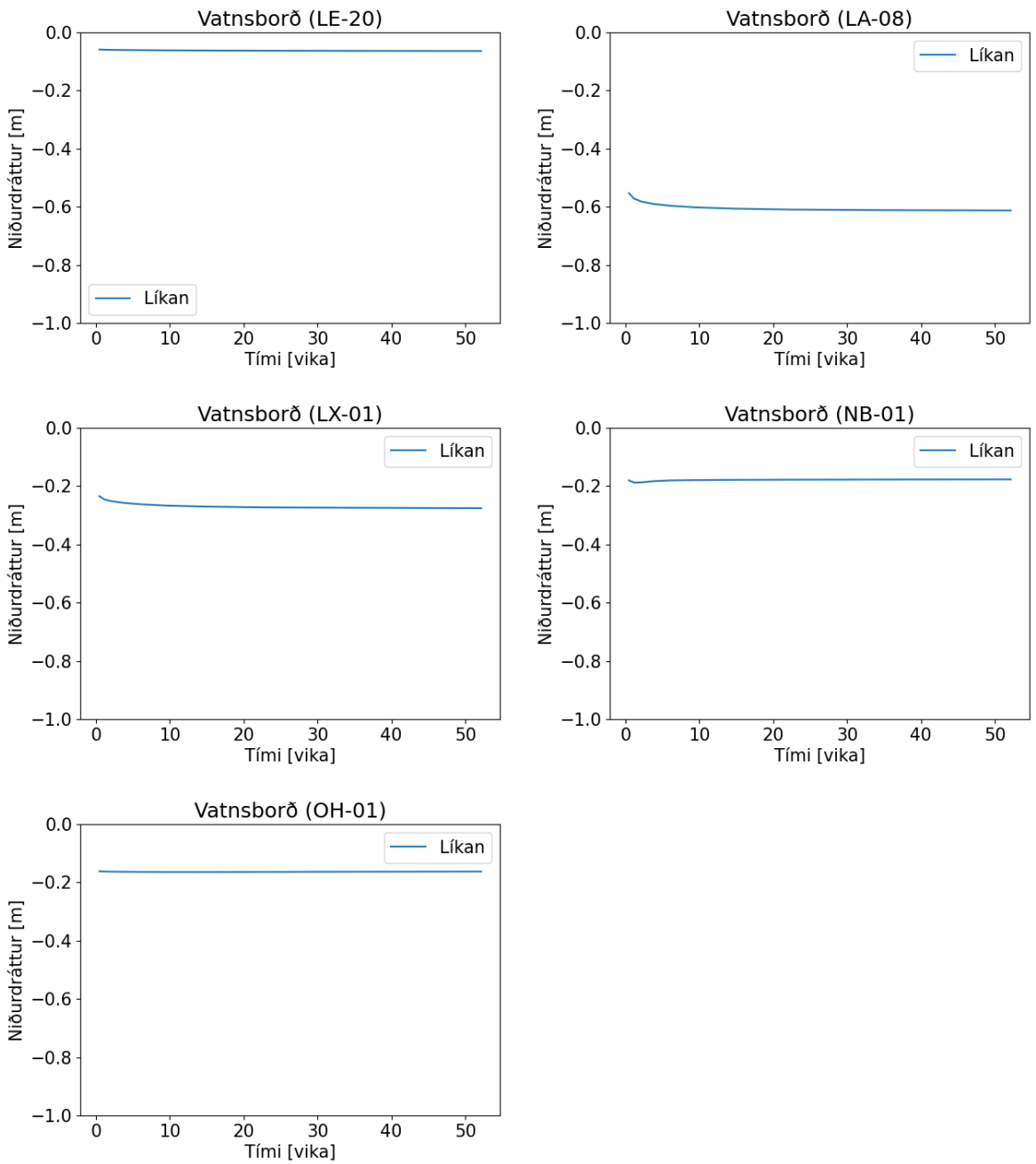
Mynd 16 sýnir nokkur þversnið af dreifingu seltu í kerfinu. Af þeim sjást greinilega áhrif vinnslu á innflæði sjávar á svæði GeoSalmo og Laxa. Þetta innflæði útskýrir seltuaukningu í kringum þau svæði. Einnig sést að holur á þessum svæðum eru að vinna úr blandlagi milli ferskvatns og jarðsjávar, sem útskýrir aukningu seltu á yfirborði á þessum stöðum. Minni áhrif eru á svæði Landeldis en hermd vinnsla þar er töluvert minni. Mynd 17 sýnir seltu vatns sem dælt er úr nokkrum holum á svæðinu. Á þeim sést að selta í ferskvatnsholum á vinnslusvæðum Laxa, Náttúru og Ísþórs á svæðinu eykst yfir tímabilið, sem er í samræmi við það að þykkt ferskvatnslinsu hefur minnkað á þessum svæðum. Gögn um raunverulega seltu vinnsluholna á þessu svæði eru ekki opinber svo ekki er hægt að bera niðurstöðu líkansins við raungildi. Hins vegar sést að engin breyting er á seltu vatns úr ferskvatnsholum Þorlákshafnar, enda hefur ferskvatnslinsan þar þykknað.

Tafla 2. *Stærð núverandi og framtíðar vinnslu í grennd við Þorlákshöfn.*

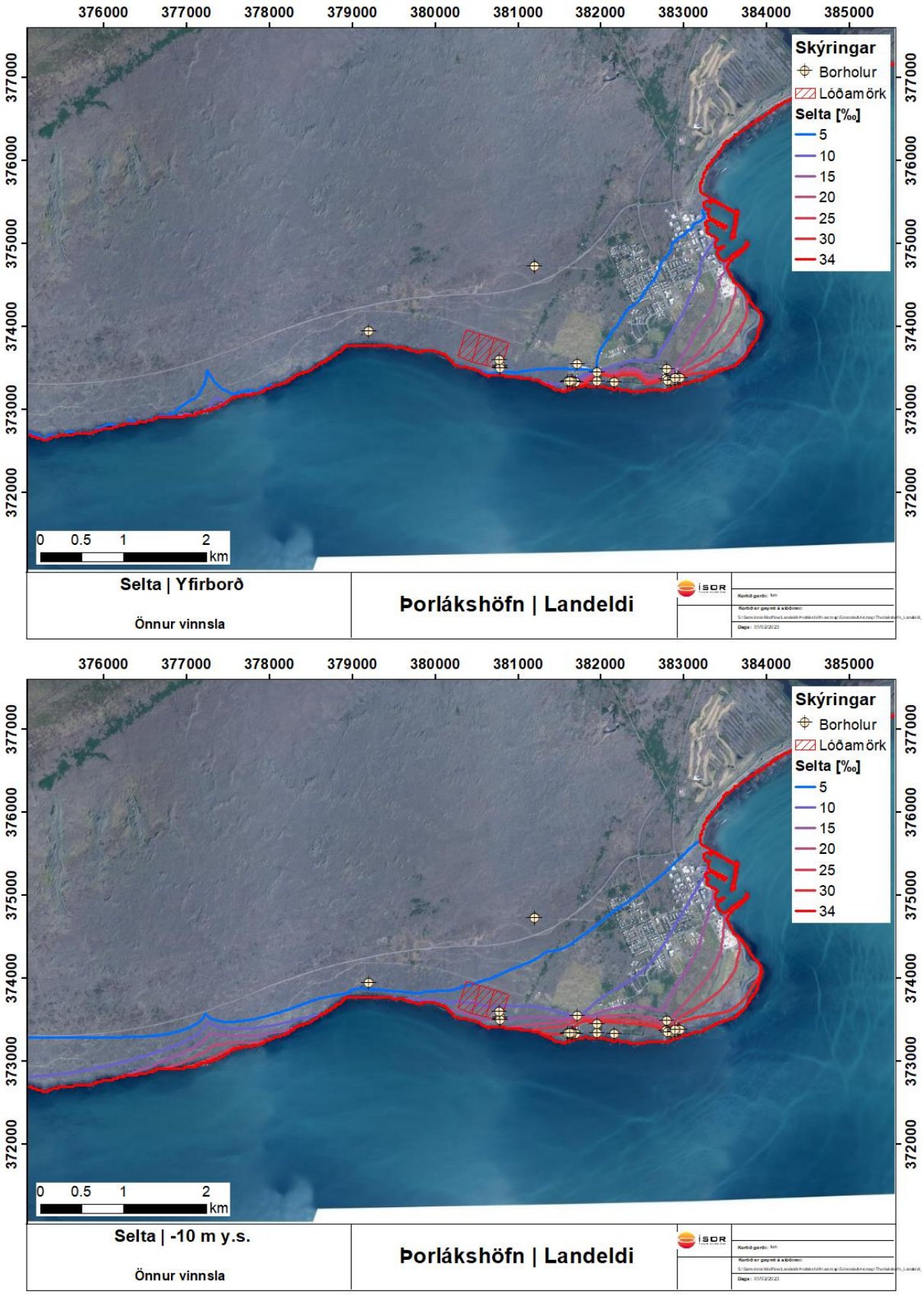
Svæði	Sjótaka [L/s]	Ferskvatnstaka [L/s]
Ísþór	6.500	700
Laxar	5.000	375
Náttúra	490	450
Landeldi	223	0
Geo Salmo	18.500	750
Fiskeldi Ölfuss	12.000	0
Þorlákshöfn	0	50



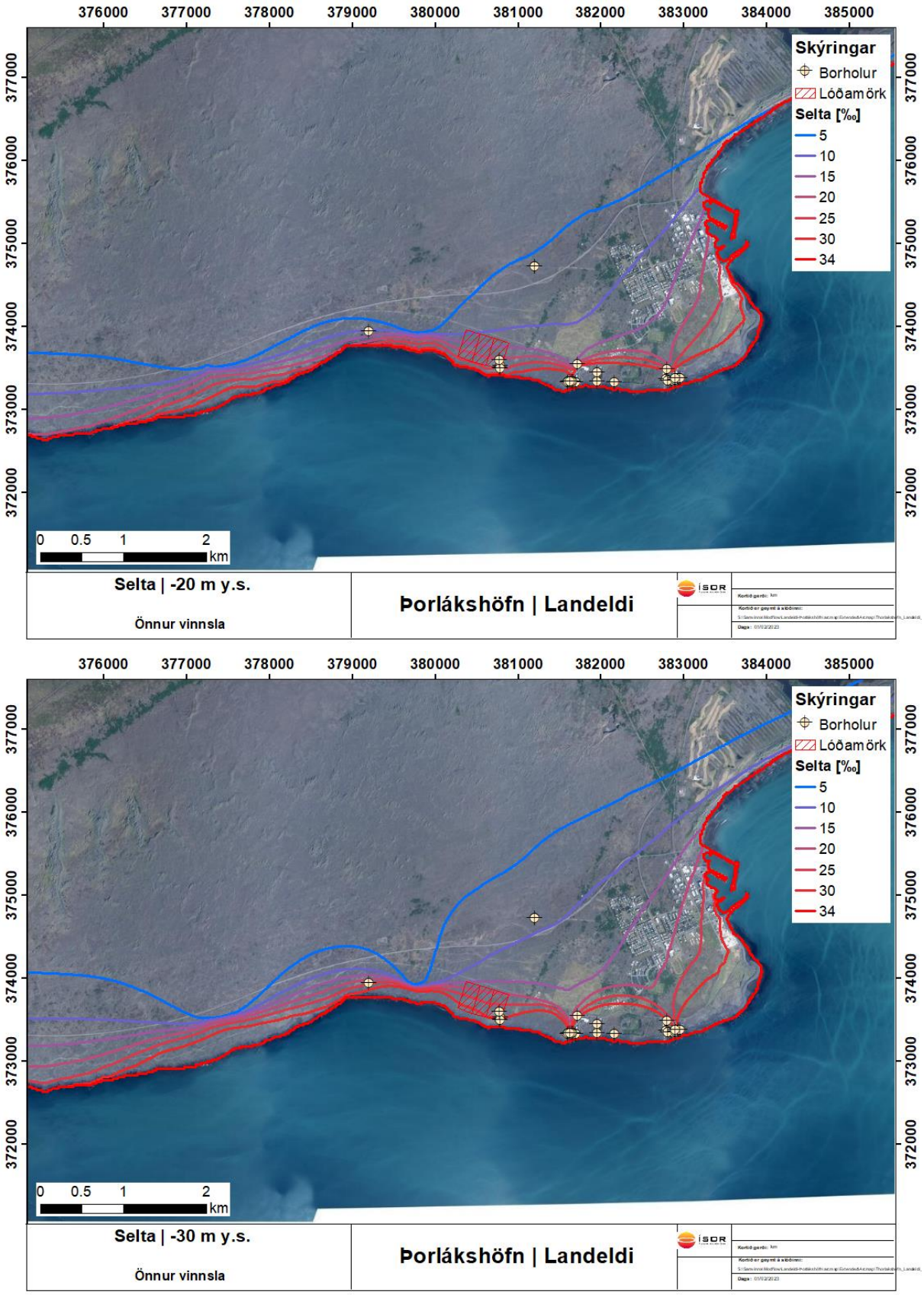
Mynd 13. *Hermt vatnsborð (m y.s.) eftir 1 ár af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar.*



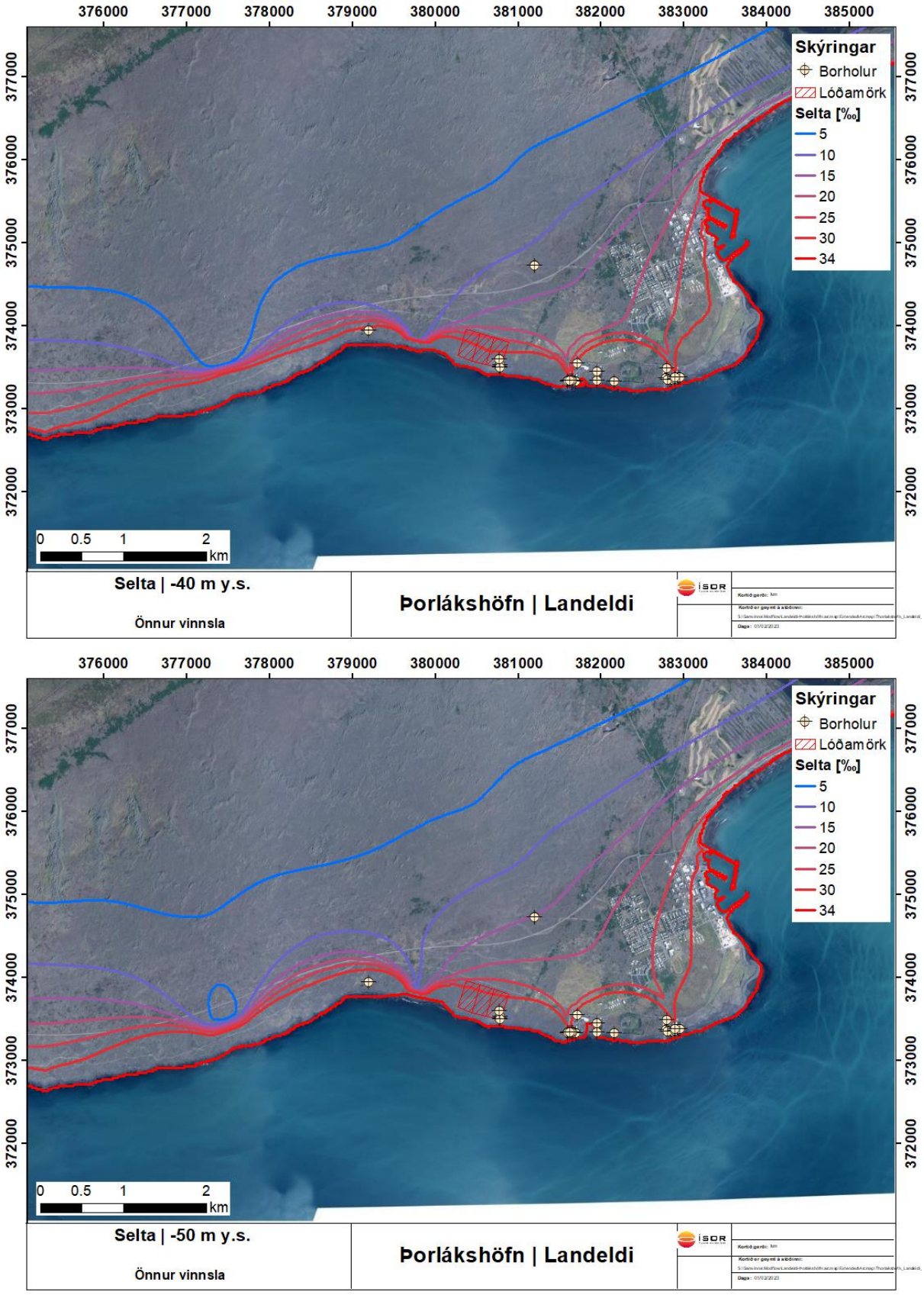
Mynd 14. *Reiknaður niðurdráttur vegna vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar í nokkrum borholum.*



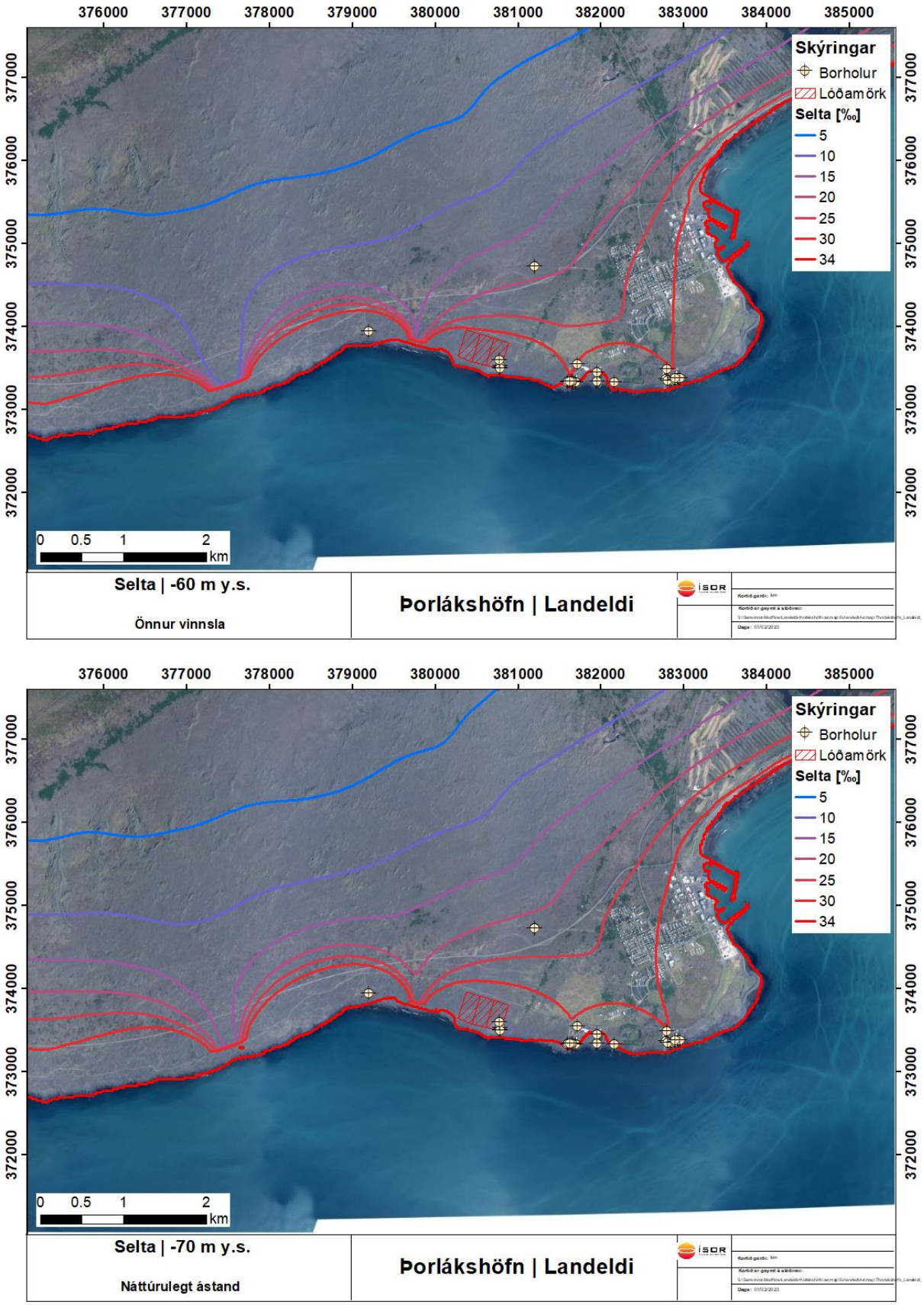
Mynd 15. *Dreifing seltu eftir 1 ár af af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar fyrir mismunandi dýpi.*



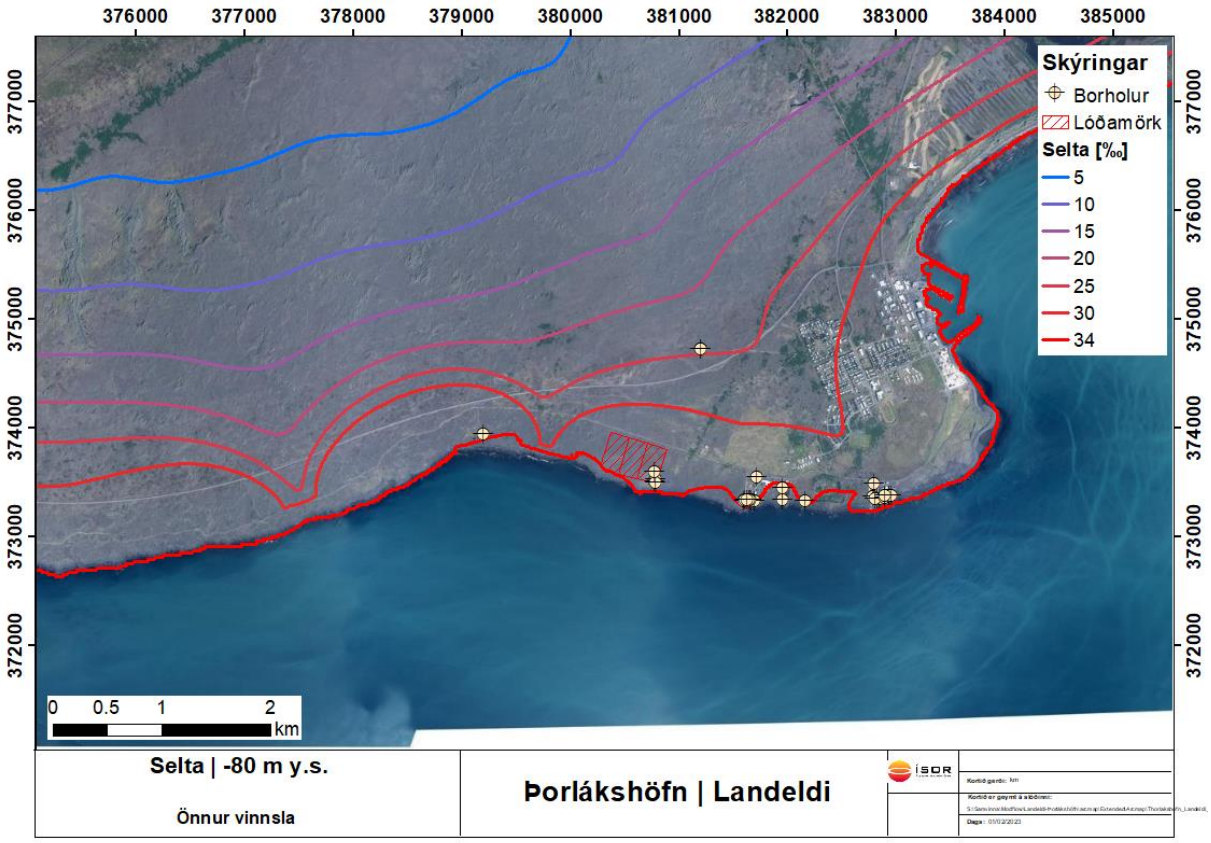
Mynd 15. *(Frh.) Dreifing seltu eftir 1 ár af af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar fyrir mismunandi dýpi.*



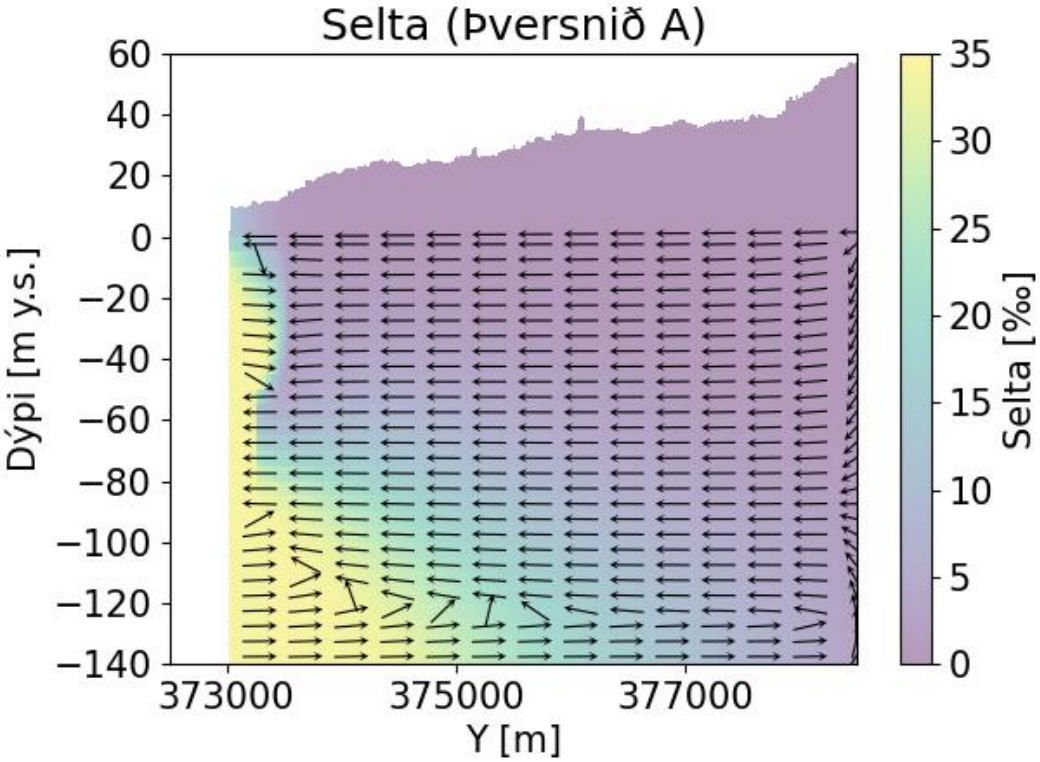
Mynd 15. *(Frh.) Dreifing seltu eftir 1 ár af af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar fyrir mismunandi dýpi.*

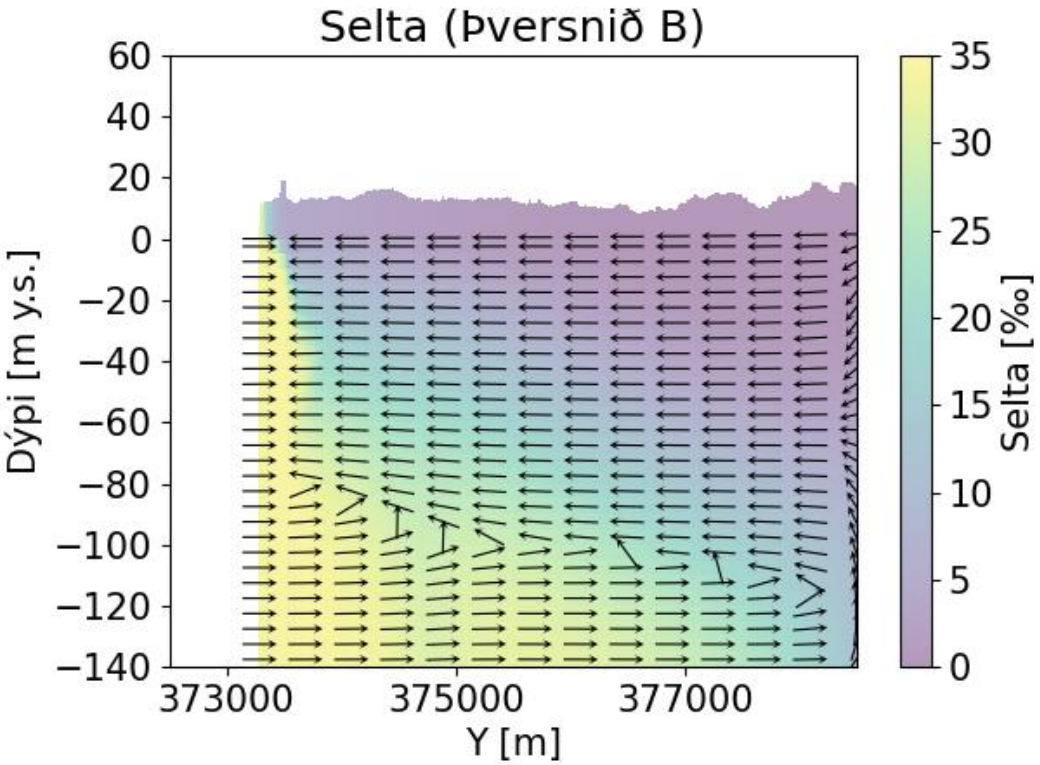


Mynd 15. *(Frh.) Dreifing seltu eftir 1 ár af af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar fyrir mismunandi dýpi.*

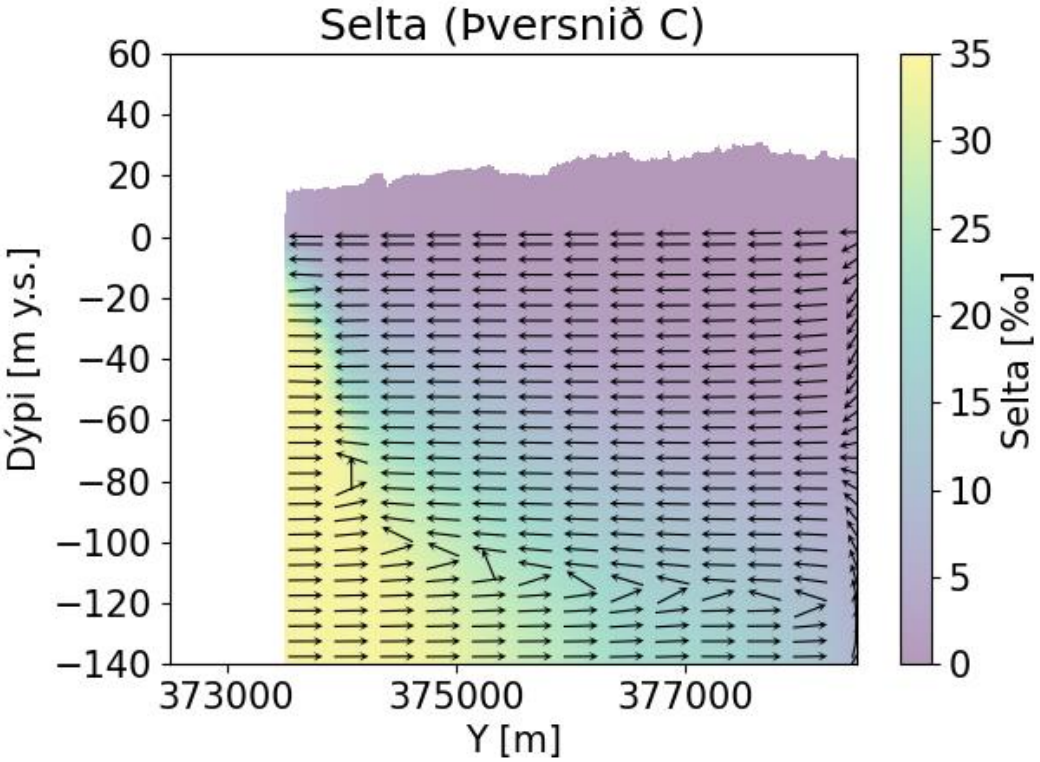


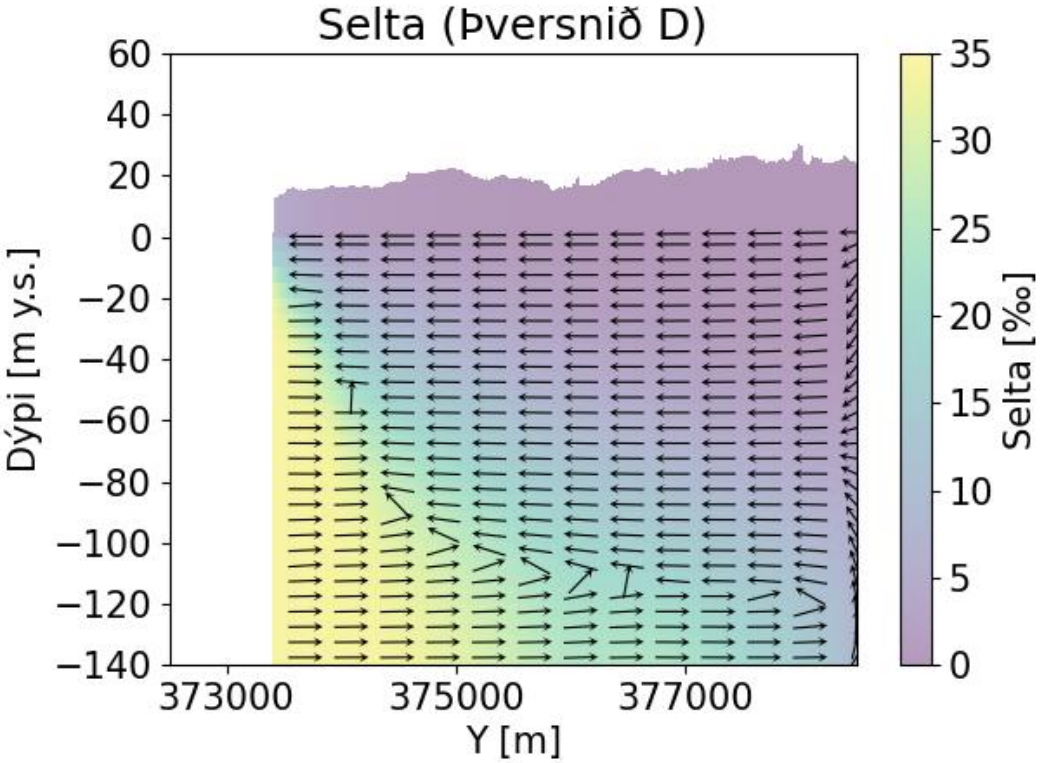
Mynd 15. *(Frh.) Dreifing seltu eftir 1 ár af af vinnslu GeoSalmo, fiskeldis Ölfuss, Landeldis, Ísþórs, Laxa, Náttúru og Þorlákshafnar fyrir mismunandi dýpi.*



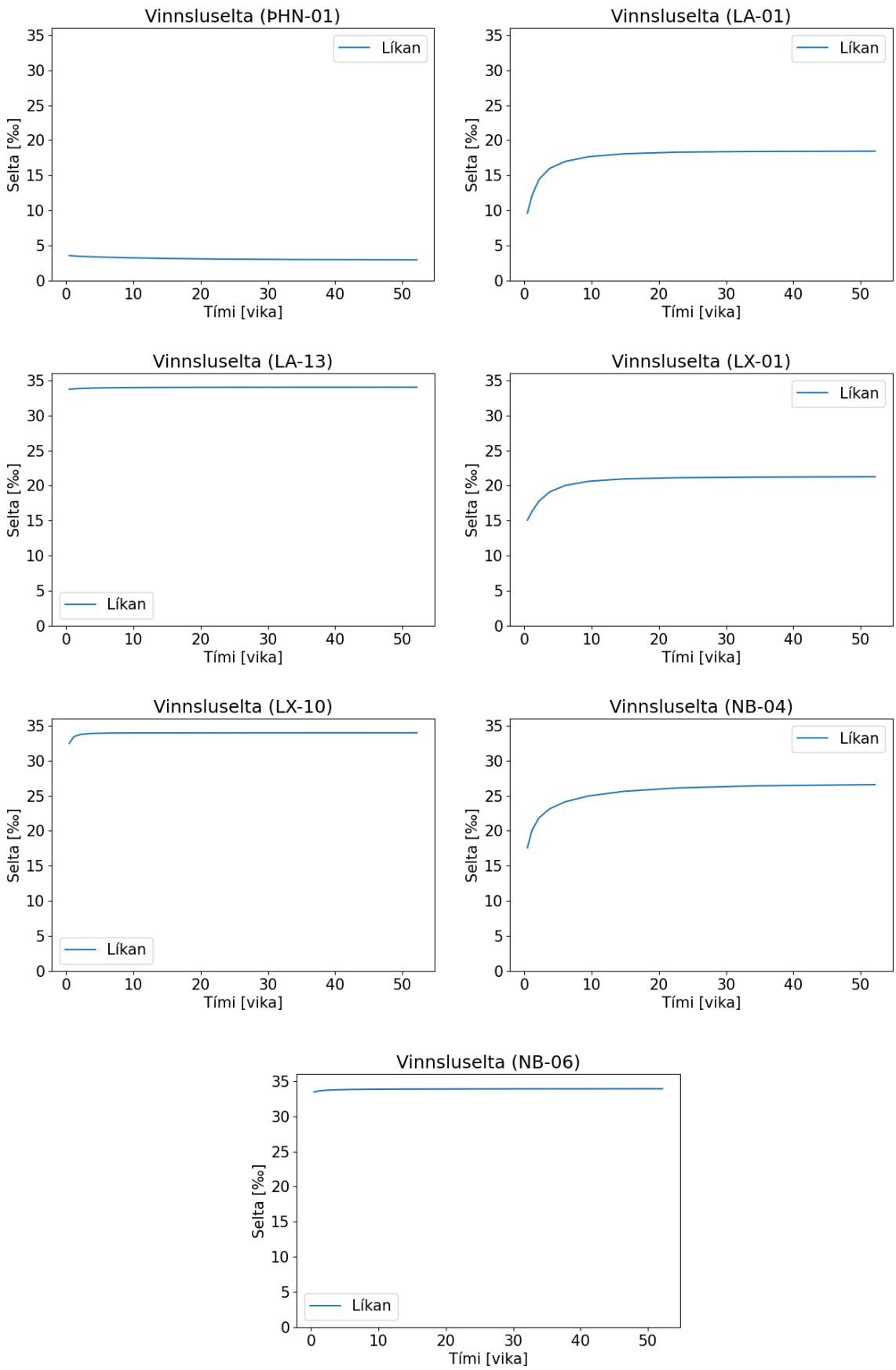


Mynd 16. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi ásamt stefnu rennslis í hverju þversniði (örvar) fyrir aðra vinnslu á líkanasvæðinu. Legu þversniða má sjá á mynd 11.*





Mynd 16. *(Frh.) Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi ásamt stefnu rennslis í hverju þversniði (örvar) fyrir aðra vinnslu á líkanasvæðinu. Legu þversniða má sjá á mynd 11.*



Mynd 17. *Reiknuð breyting á seltu vatns úr nokkrum borholum nálægt Þorlákshöfn vegna annarrar vinnslu á líkanasvæðinu í 1 ár.*

4.3 Framtíðarvinnsla

Áætlað er að upptaka jarðsjávar á vinnslusvæði Landeldis verði framkvæmd í þremur áföngum, þar sem fyrsti áfangi gerir ráð fyrir nýtingu á 5.000 L/s af jarðsjó og 500 L/s af ferskvatni, annar áfangi 10.000 L/s af jarðsjó og 500 L/s af ferskvatni og þriðji áfangi 20.000 L/s af jarðsjó og 500 L/s af ferskvatni. Áætlað er að hver ný hola á svæðinu dæli allt að 170 L/s af fullsöltum sjó og voru því hermdar 30 nýjar holur í fyrsta áfanga, 60 í öðrum áfanga og 120 í þriðja áfanga.

Til að meta áhrif þessara framkvæmdar á kerfið var líkanið látið herma umrædda vinnslu í 50 ár. Þrjú mismunandi vinnslutilfelli voru athuguð; heildarvinnsla upp á 5.500 L/s, 10.500 L/s og 20.500 L/s. Til viðbótar var gert ráð fyrir stöðugri vinnslu á öðrum svæðinu, eins og kemur fram í Tafla 2.

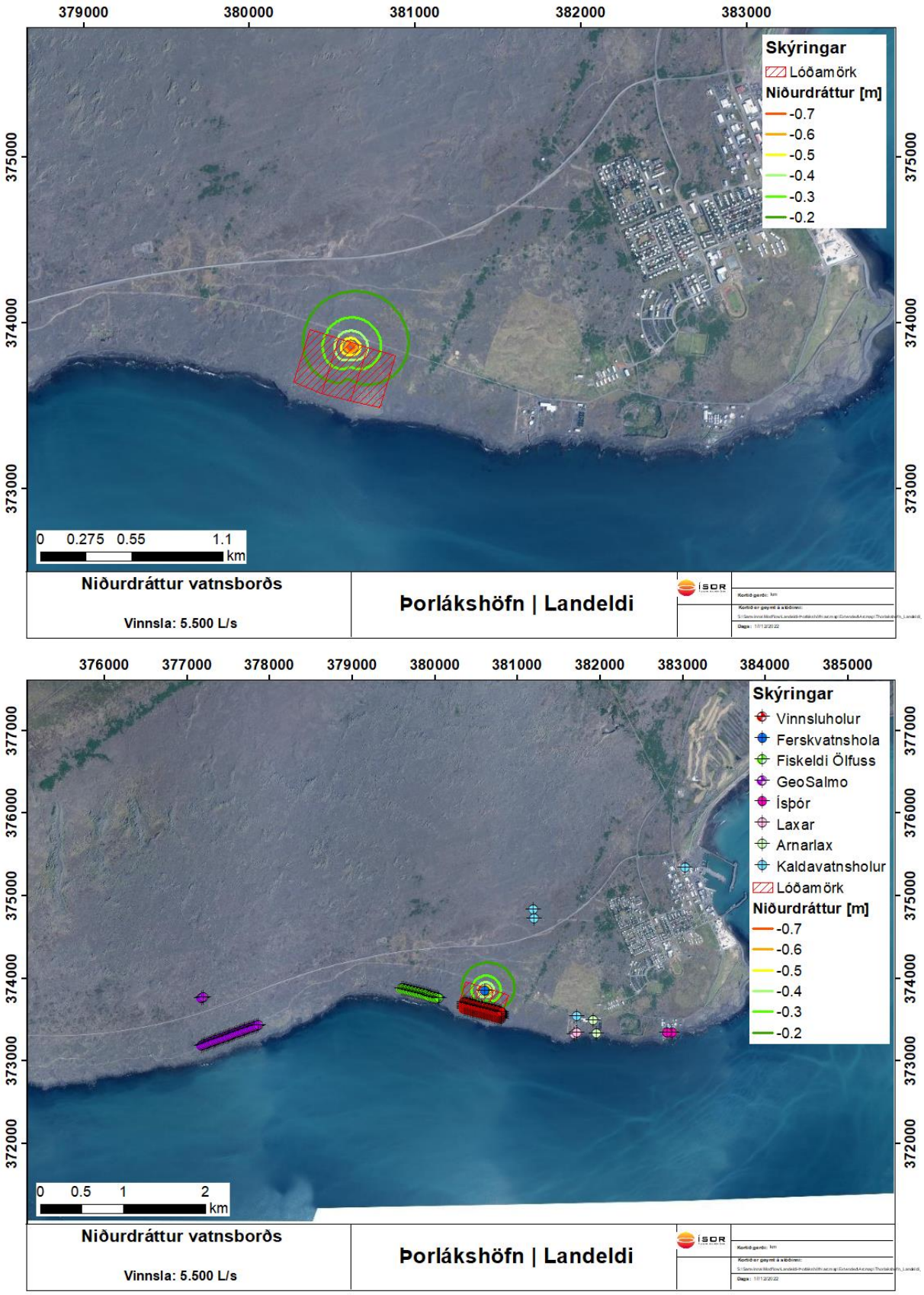
4.3.1 1. áfangi: 5.500 L/s

Hermun vinnslu í 1. áfanga var byggð á hermun á annarri vinnslu á svæði líkansins. Líkanið var látið herma vinnslu á 5.500 L/s, þ.a. 5.000 L/s af jarðsjó og 500 L/s af ferskvatni. Jarðsjór var unninn úr samtals 30 nýjum borholum sem voru staðsettar með 20 m millibili á vinnslusvæði Landeldis (mynd 18). Holurnar voru 100 m djúpar og opnar milli -50 til -100 m y.s. Ferskvatn var unnið úr einni borholu, LE-21, nýrri holu nyrst á svæði Landeldis, en hún er 20 m djúp og opin. Líkanið var látið herma vinnslu í 50 ár.

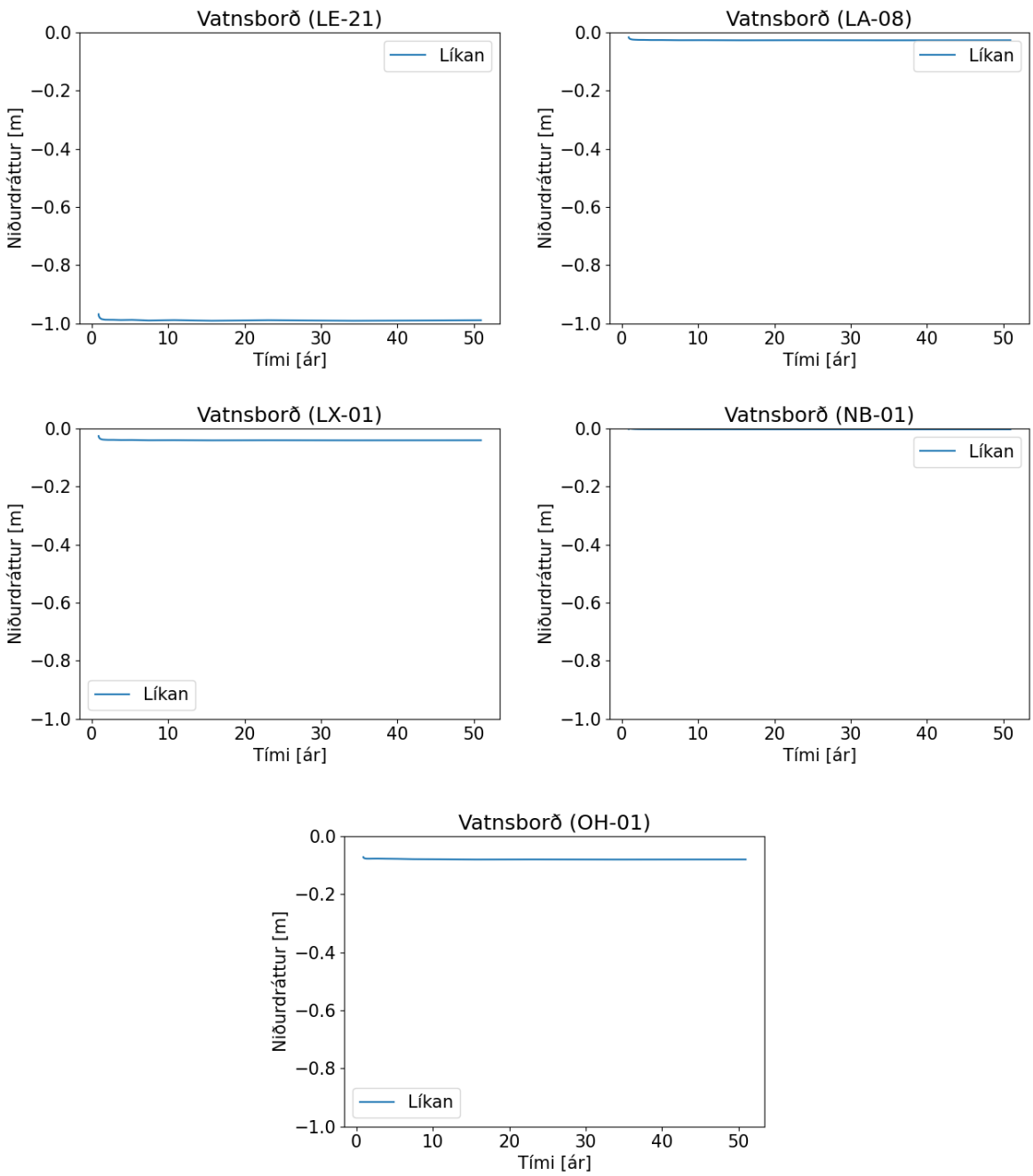
Mynd 18 sýnir niðurdrátt vatnsborðs á svæðinu eftir 50 ára vinnslu af 5.500 L/s, miðað við stöðu vatnsborðs við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 13). Af henni má sjá að vatnsborðið breytist aðallega á vinnslusvæði Landeldis. Vatnsborðsbreytingin er ~1 m nyrst á svæðinu en ~20 cm nær ströndinni. Á öðrum vinnslusvæðum er vatnsborðsbreytingin lítil sem engin. Þetta má einnig sjá á mynd 19 en á henni sést að enginn marktækur vatnsborðsniðurdráttur er í öðrum vinnslusvæðum.

Mynd 20 sýnir breytingu á seltu á líkanasvæðinu eftir 50 ára vinnslu af 5.500 L/s, miðað við stöðu seltu við aðra vinnslu svæðinu (mynd 15). Af myndinni sést að seltan eykst á og austur af vinnslusvæði Landeldis á yfirborði. Þegar komið er dýpra sést að seltan hefur minnkað lítillega á norðan við vinnslusvæði Landeldis sem gefur til kynna að ferskvatnslinsan hafi þykknað þar. Á mynd 21, sem sýnir vinnsluseltu fyrir tvær af nýju vinnsluholunum á svæði Landeldis, sést að sjótökuholur eru enn full saltar.

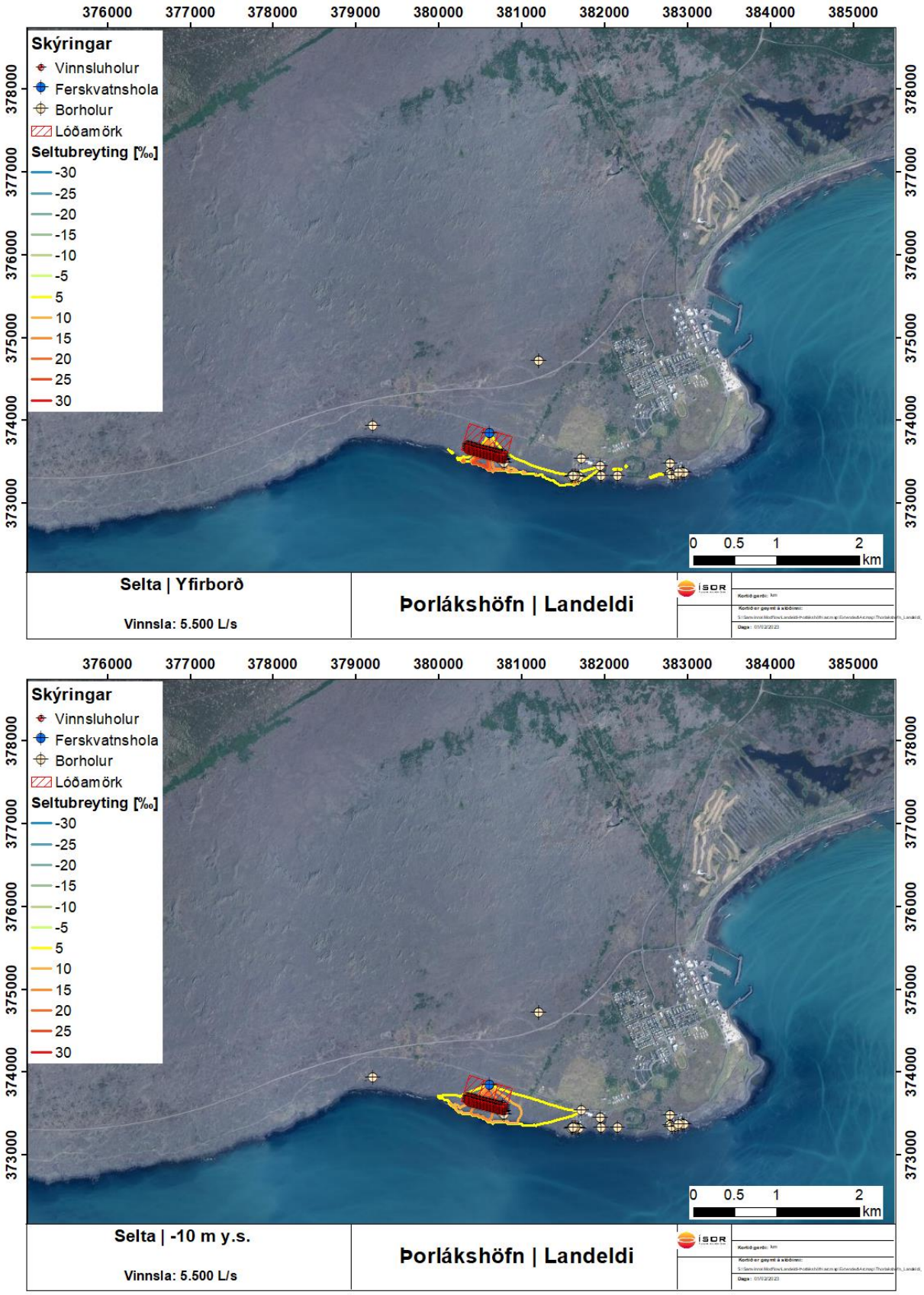
Á mynd 22 eru þversnið sem sýna seltudreifinguna í kerfinu. Á þversniðum C og D sést aukið innflæði fullsalts útsjávar á u.þ.b. 60 – 100 m dýpi við vinnslusvæði Landeldis. Það helst í hendur við það að vinnslan fer fram á það miklu dýpi að ekki er verið að taka úr ísöltu blandlaginu. Enginn stór munur er á innflæði og seltudreifingu m.v. aðra vinnslu nálægt vinnslusvæðum GeoSalmo og Laxa og passar það við gildi vinnsluseltu úr öðrum borholum á líkanasvæðinu (mynd 23).



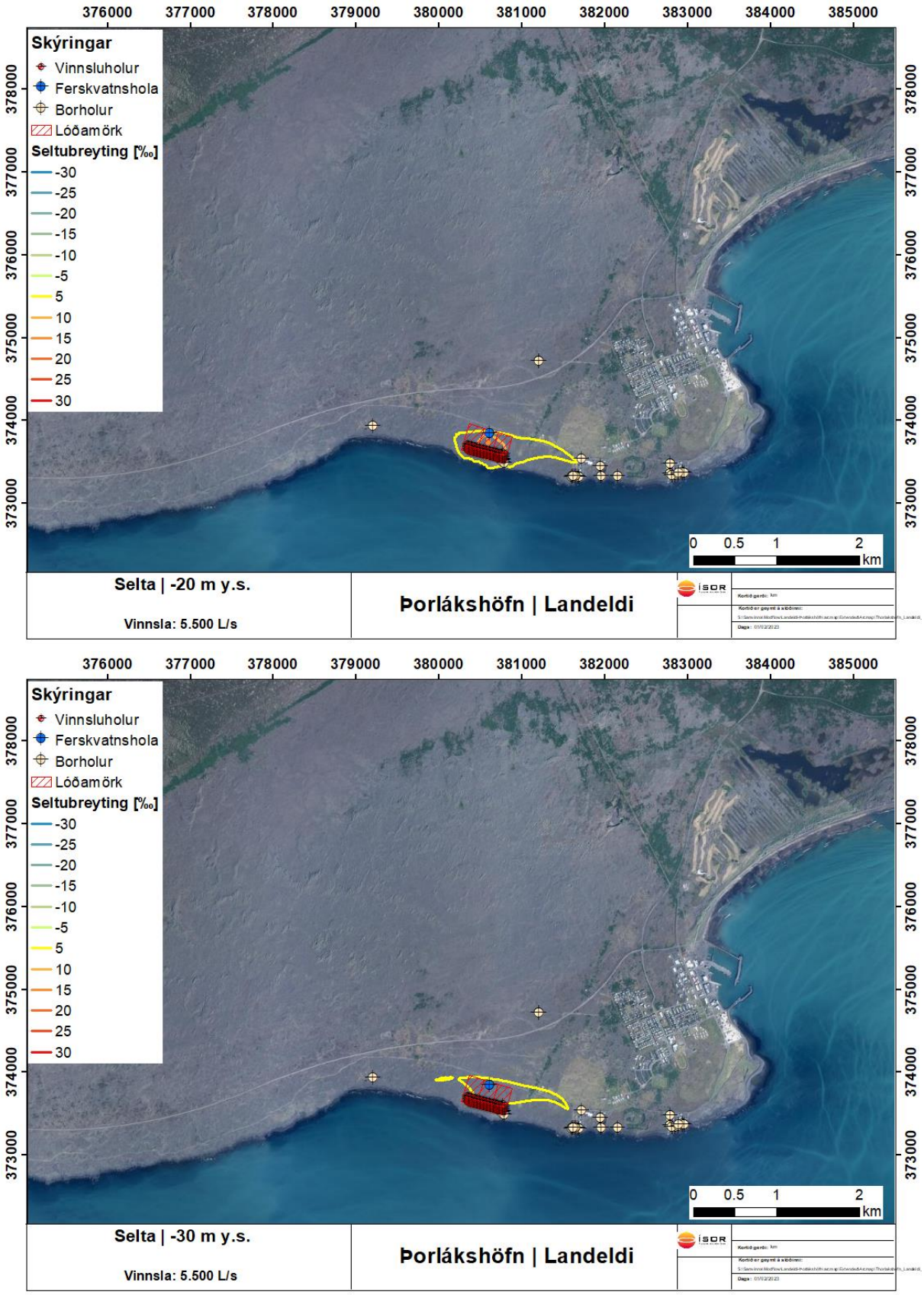
Mynd 18. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) miðað við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 13) eftir 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár. Hermdar framtíðarvinnsluholur eru merktar með rauðum punktum.*



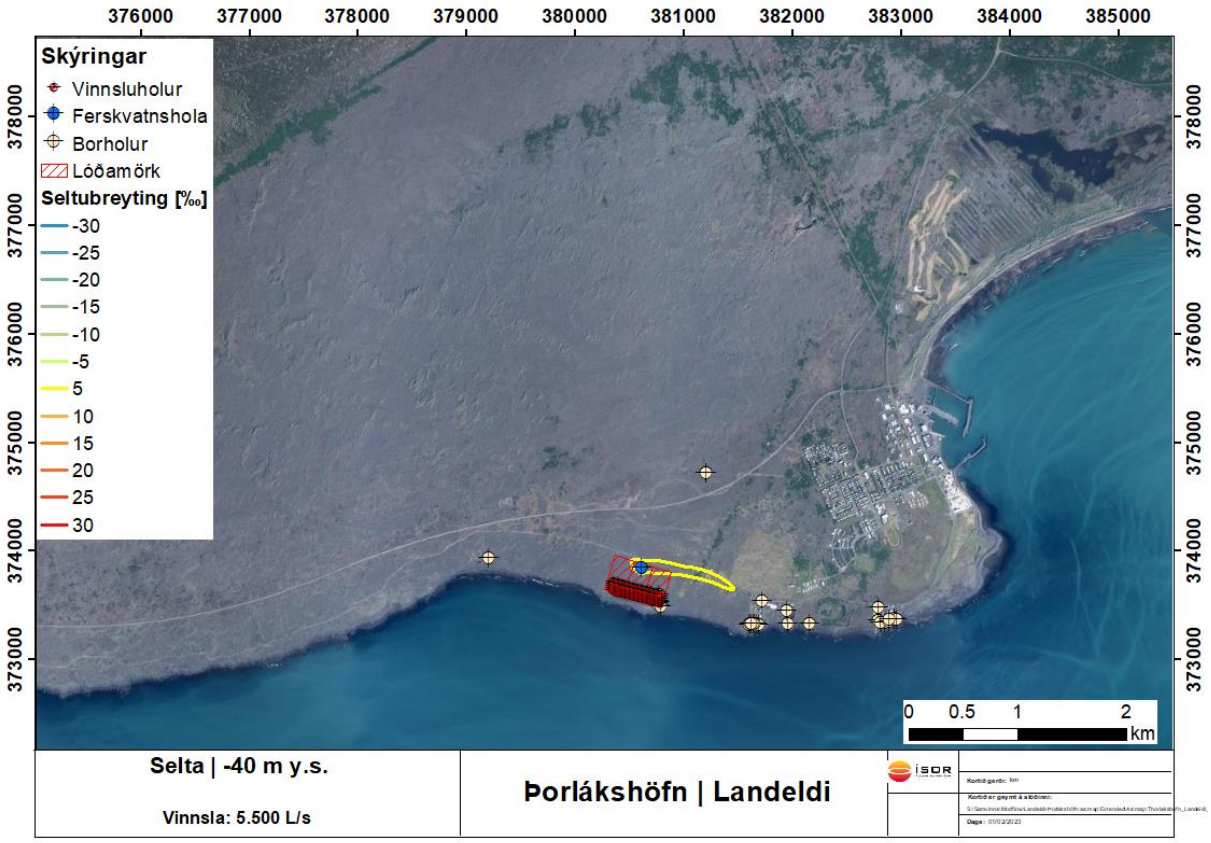
Mynd 19. *Reiknuð breyting á vatnsborði í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis. Enginn niðurdráttur er í holu NB-1, þ.e.a.s. línan er á núllás.*

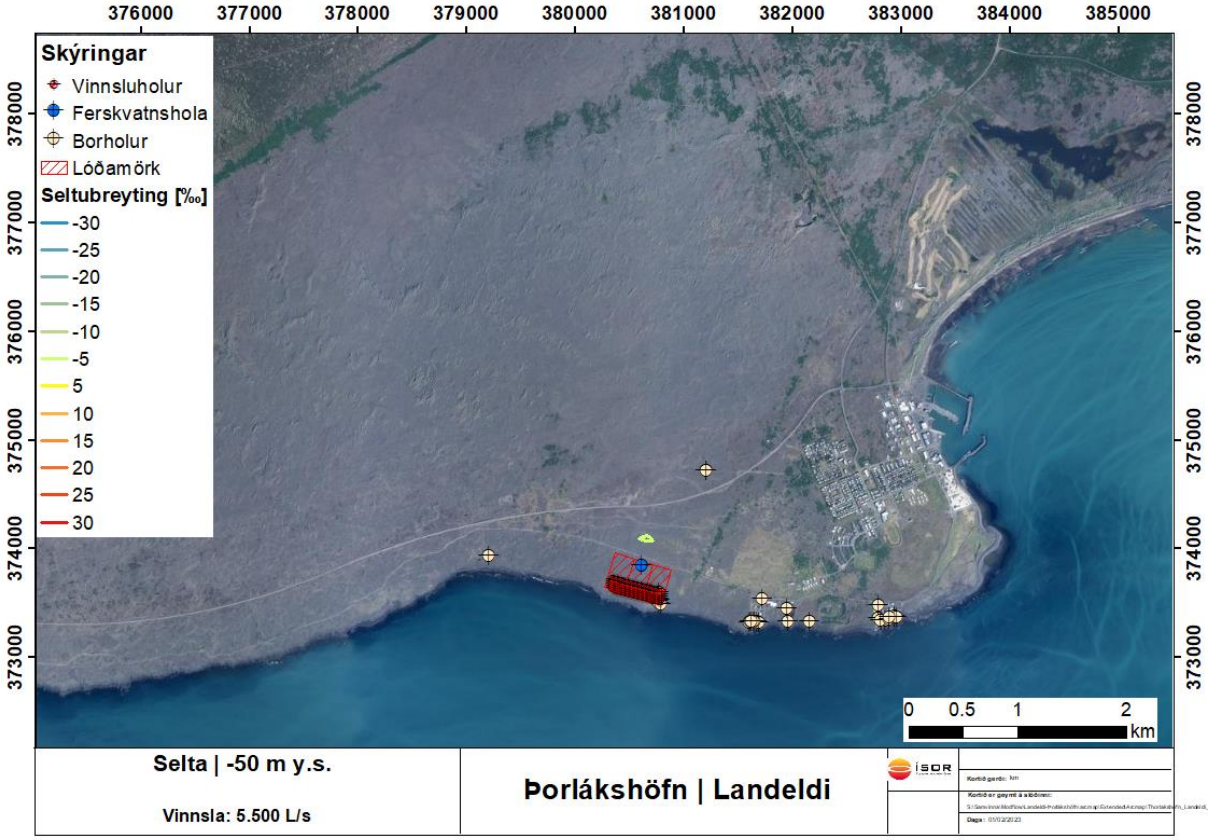


Mynd 20. *Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

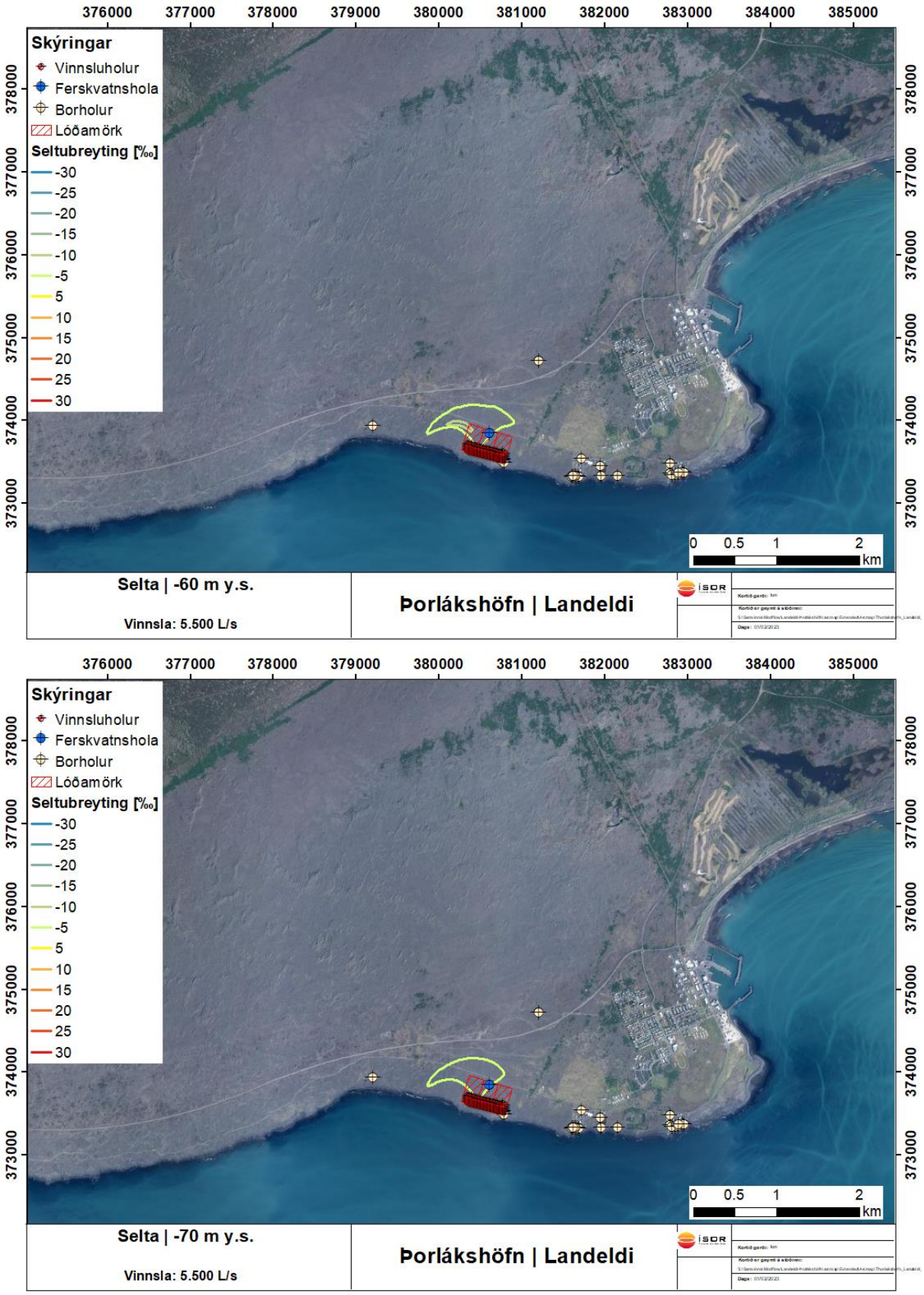


Mynd 20. *(Frh) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

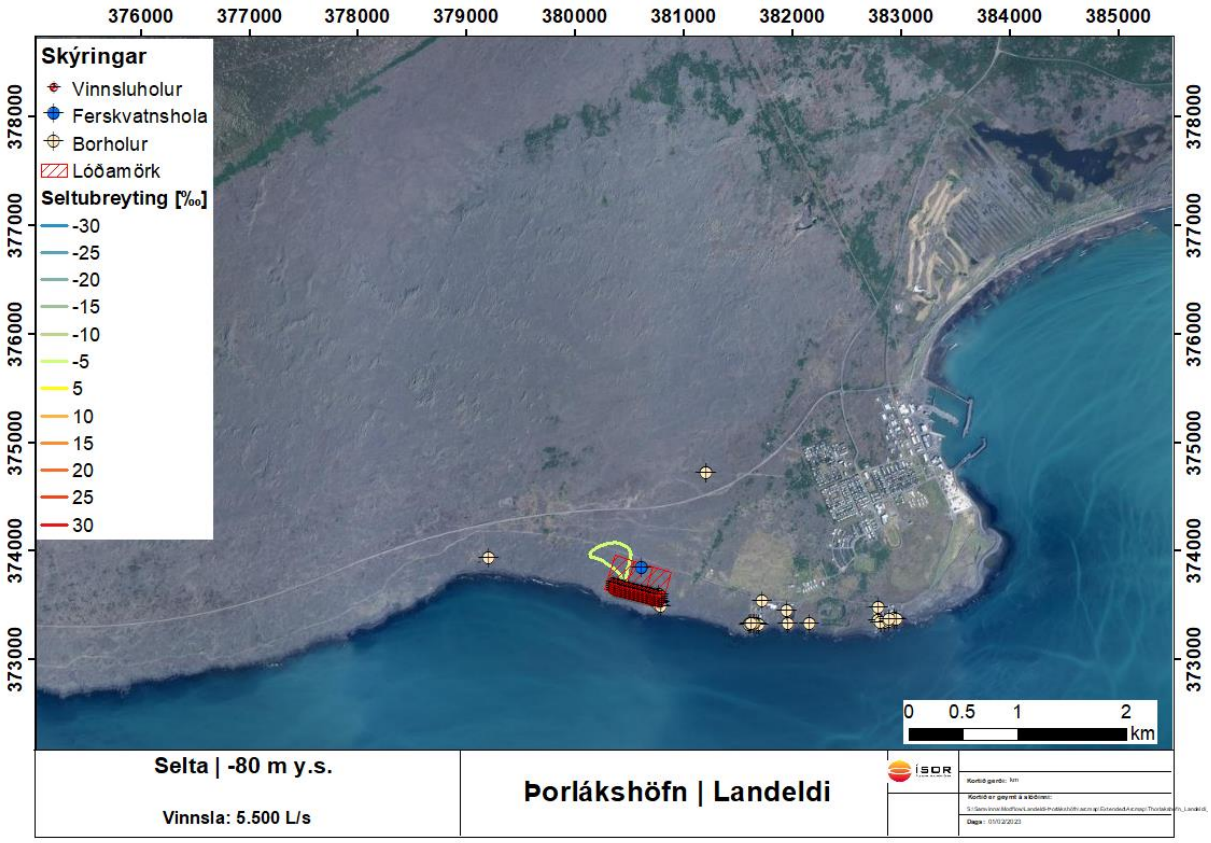




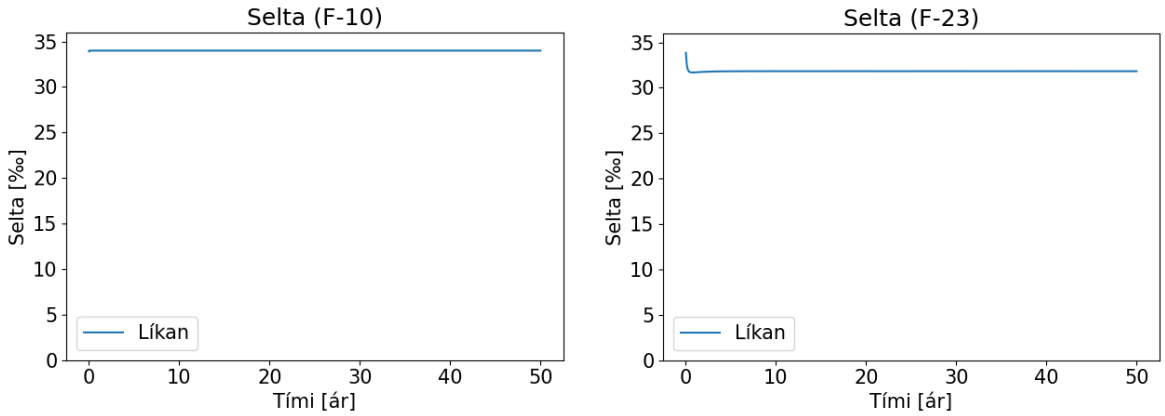
Mynd 20. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*



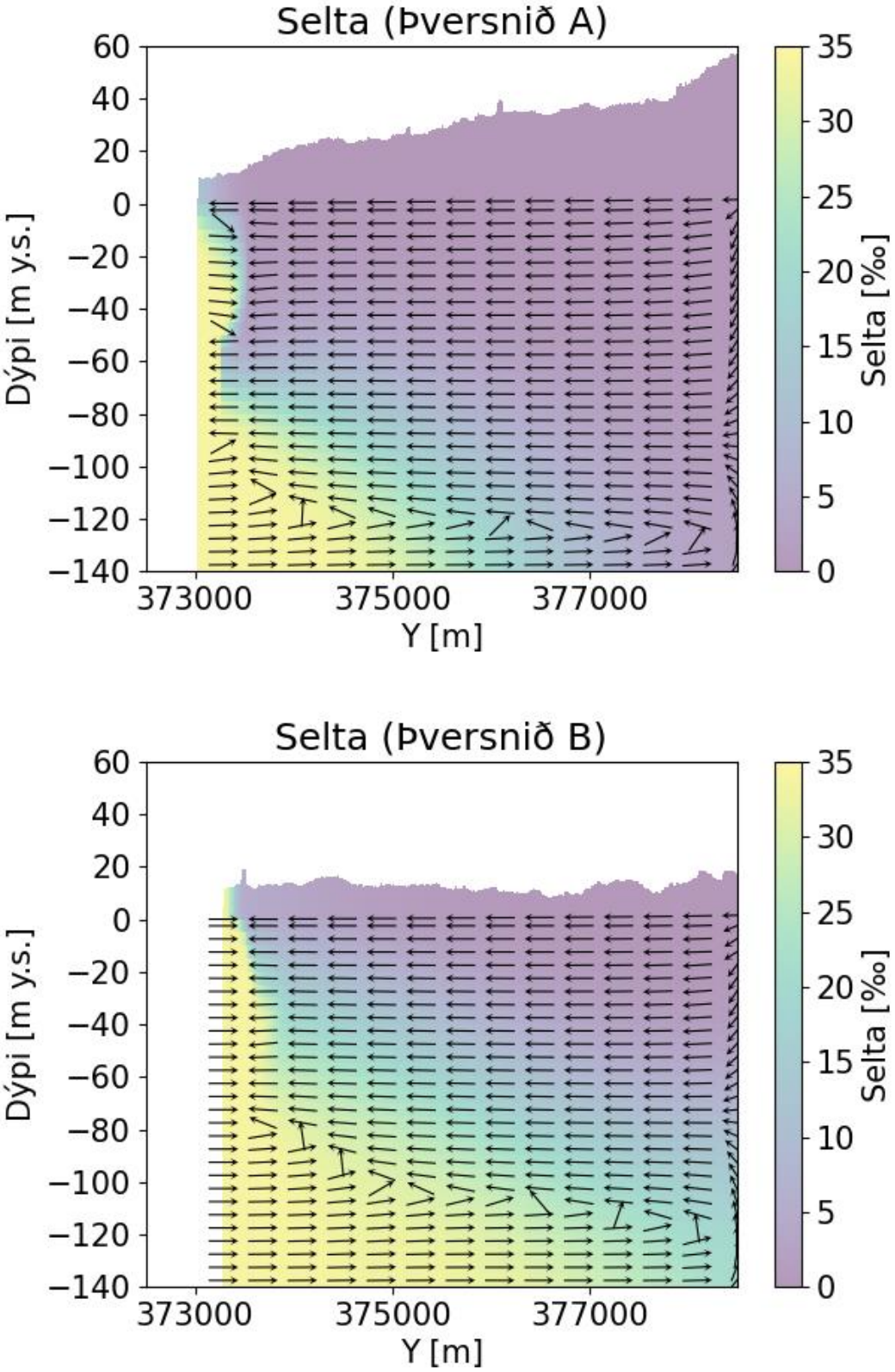
Mynd 20. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*



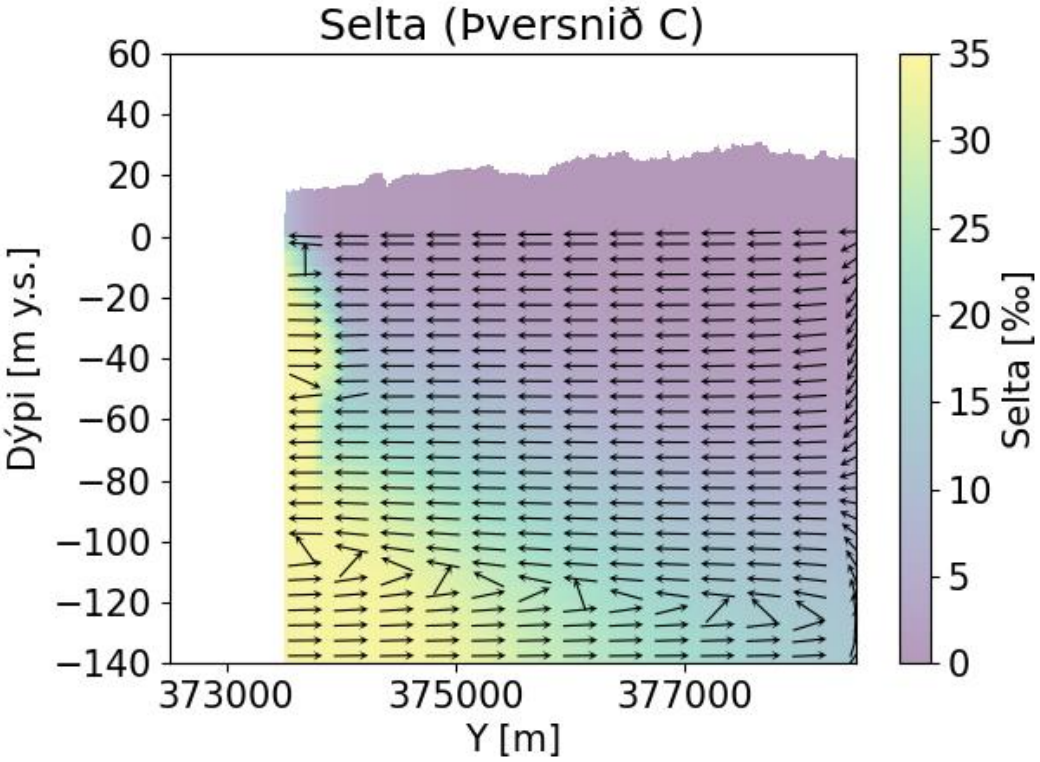
Mynd 20. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

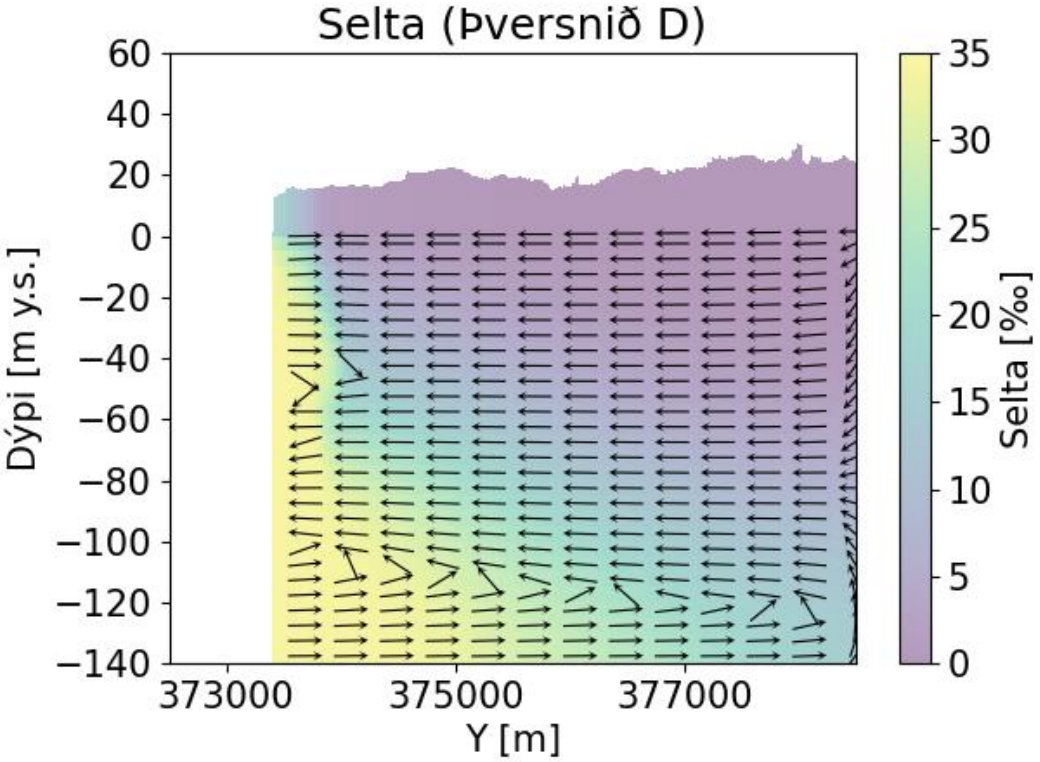


Mynd 21. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu fyrir tvær hugsanlegar nýjar sjótökuholur á svæði Landeldis vegna 5.500 L/s vinnslu á svæðinu í 50 ár.*

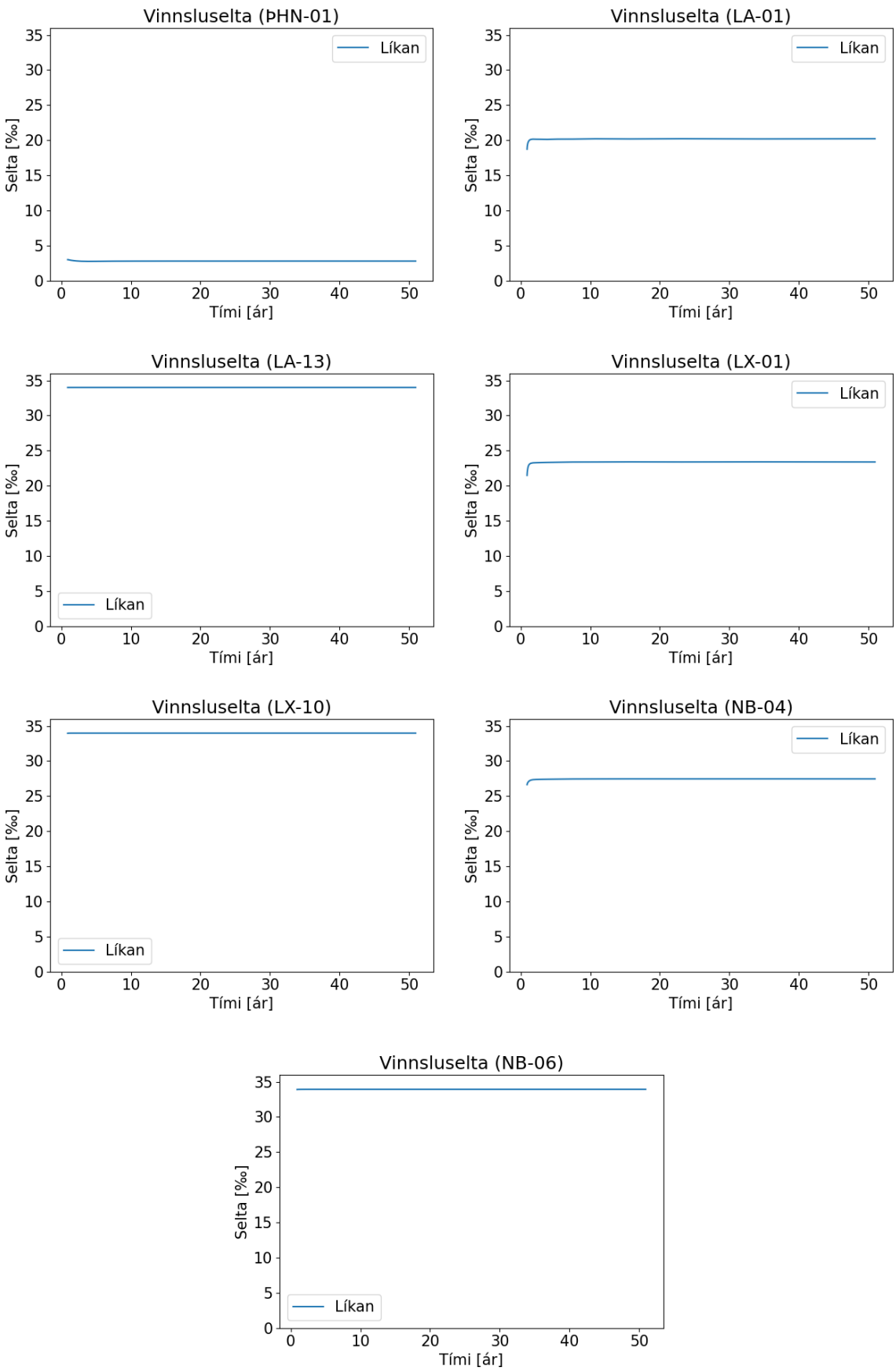


Mynd 22. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár. Stefna rennslis í hverju þversniði er einnig sýnt (stefna örva). Legu þversniða má sjá á mynd 11.*





Mynd 22. *(Frh.) Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár. Stefna rennslis í hverju þversniði er einnig sýnt (stefna örva). Legu þversniða má sjá á mynd 11.*



Mynd 23. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 5.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár.*

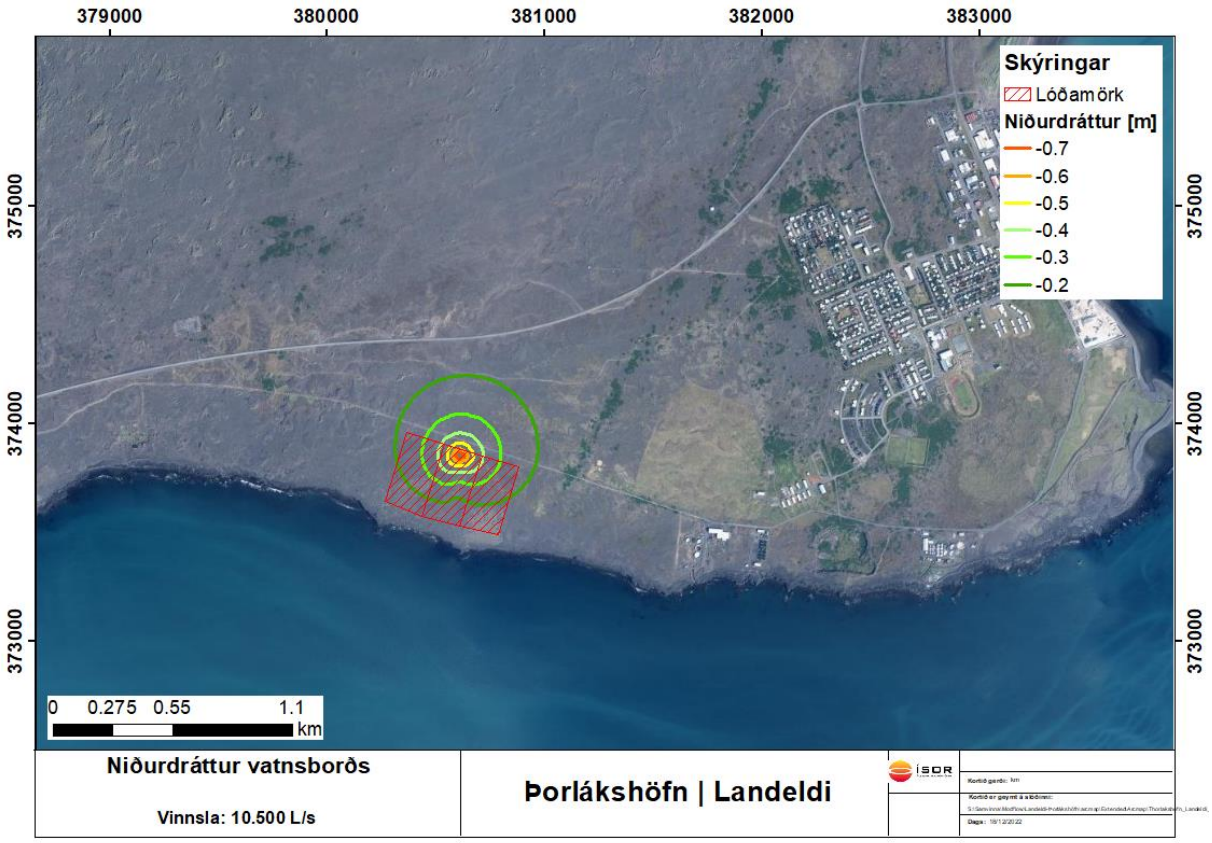
4.3.2 **2. áfangi: 10.500 L/s**

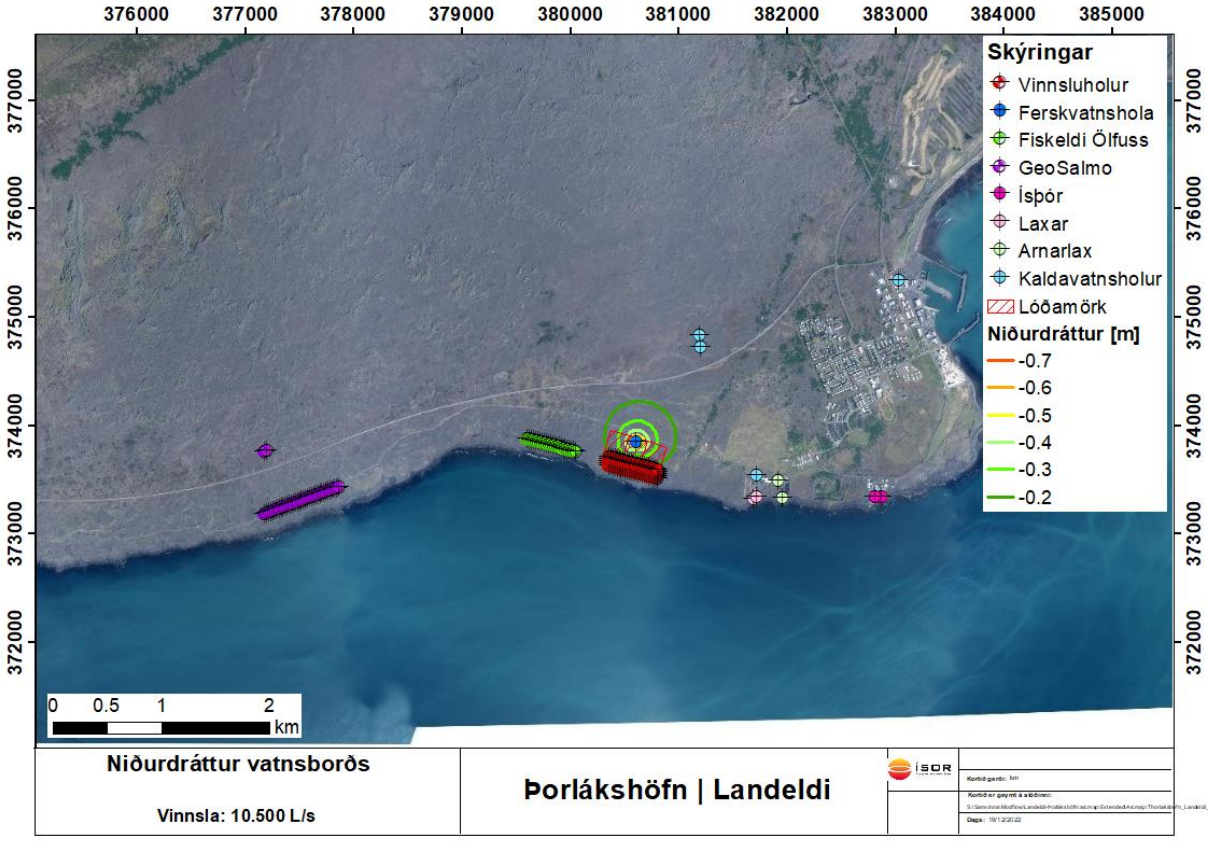
Hermun á vinnslu í 2. áfanga var byggð á hermun á annarri vinnslu á svæðinu. Líkanið var látið herma vinnslu á 10.500 L/s, þar af 10.000 L/s af jarðsjó. Jarðsjór var unninn úr samtals 60 nýjum borholum sem staðsettar voru með 20 m millibili á vinnslusvæði Landeldis, þ.a. hver hola lenti í sínum eigin líkanskubb. Holurnar voru hafðar 100 m djúpar og opnar á milli -50 og -100 m y.s. Ferskvatn var unnið úr einni borholu, LE-21, nýrri holu nyrst á svæðinu. Líkanið var látið herma vinnslu í 50 ár.

Mynd 24 sýnir niðurdrátt vatnsborðs á svæðinu eftir 50 ára vinnslu af 10.500 L/s, miðað við stöðu vatnsborðs við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 13). Af henni sést að vatnsborðið tekur mestum breytingum á vinnslusvæði Landeldis. Vatnsborðsbreytingin er ~1 m nyrst á svæðinu en ~20 cm nær ströndinni. Þetta sést einnig á mynd 25. Þetta er svipað og fyrir 1. áfanga, en það skýrist af því að meirihluti niðurdráttar á svæðinu er vegna ferskvatnsvinnslu, sem ekki breytist milli áfanga.

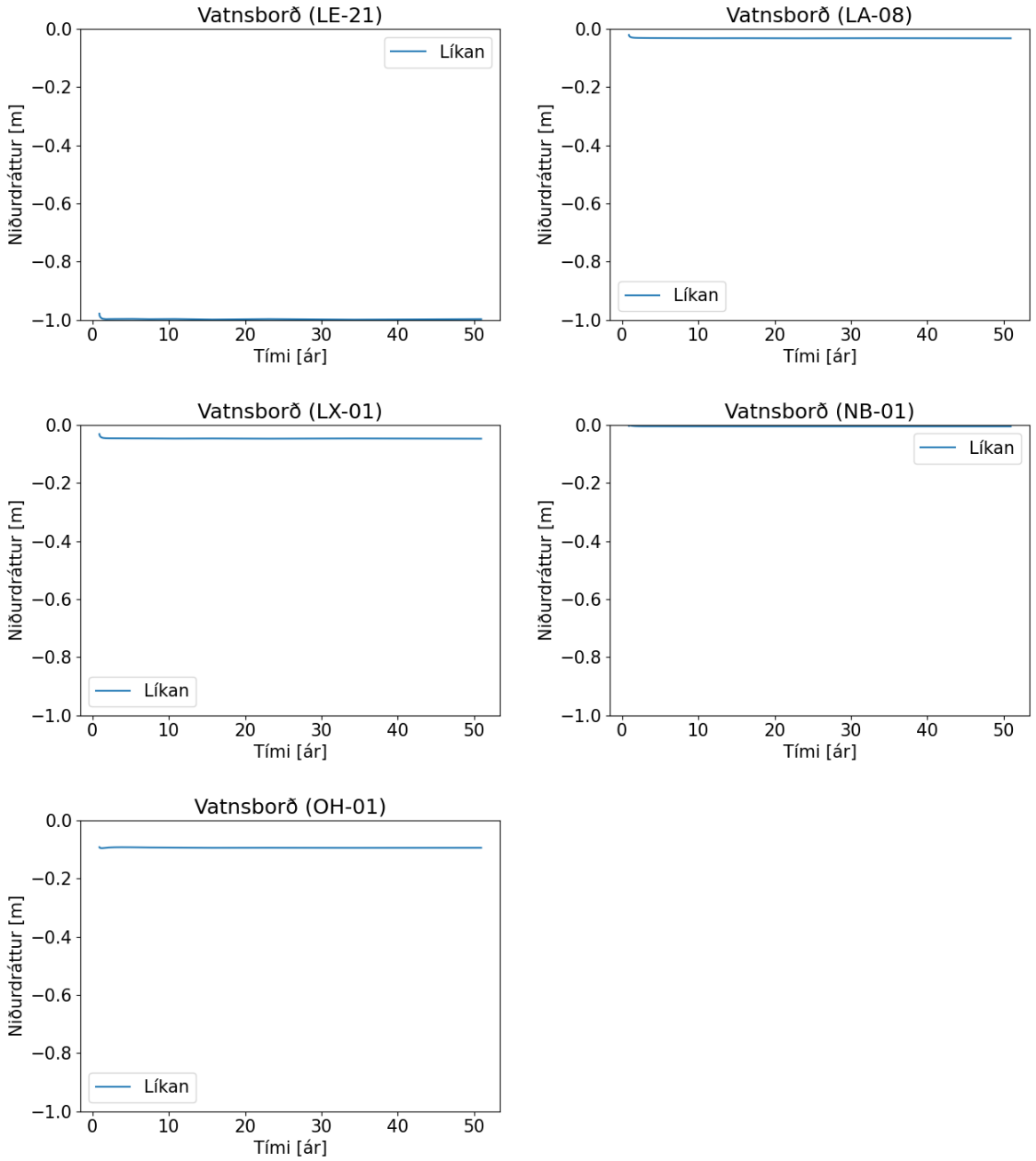
Mynd 26 breytingu á seltu á líkanasvæðinu eftir 50 ára vinnslu af 10.500 L/s, miðað við stöðu seltu við aðra vinnslu svæðinu (mynd 15). Þar sést að seltan hefur aukist á yfirborði á vinnslusvæði Landeldis, og meðfram ströndinni til austurs af vinnslusvæðinu. Þegar komið er dýpra sést að seltan hefur minnkað norður af svæði Landeldis. Mynd 27 sýnir að sjótökuholur Landeldis eru enn að taka inn fullsaltan sjór, þó seltan hefur lækkað lítillega í einhverjum þeirra.

Á mynd 28 eru þversnið sem sýna seltudreifingu á svæðinu. Á þversniðum C og D sést aukið innflæði fullsalts útsjávar á u.þ.b. 60–110 m dýpi við vinnslusvæði Landeldis. Einnig sést vel þykknun ferskvatnslinsunnar til norðurs. Engin breyting kemur fram nálægt vinnslusvæðum Laxa og Ísþórs. Þetta sést einnig á mynd 29.

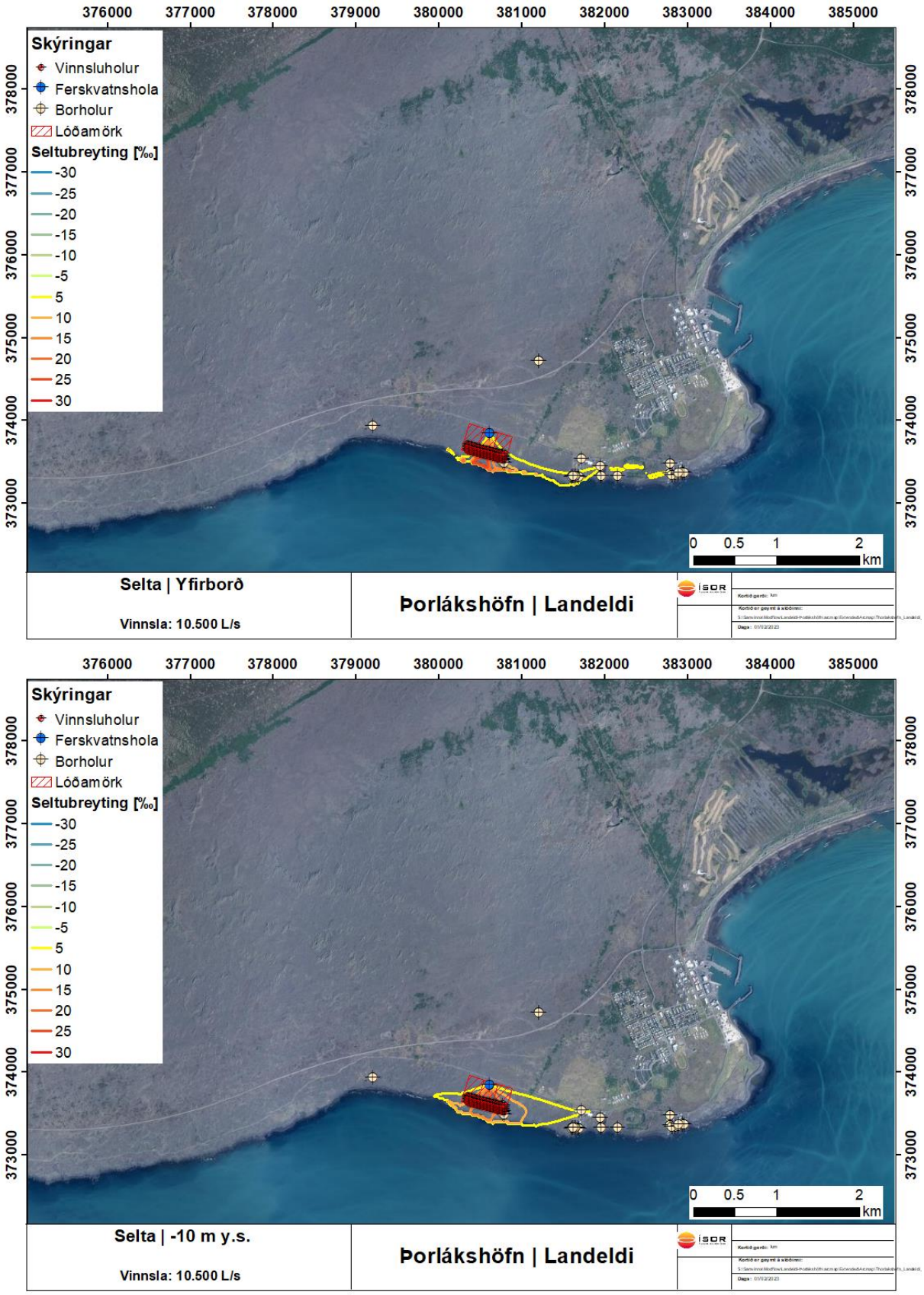




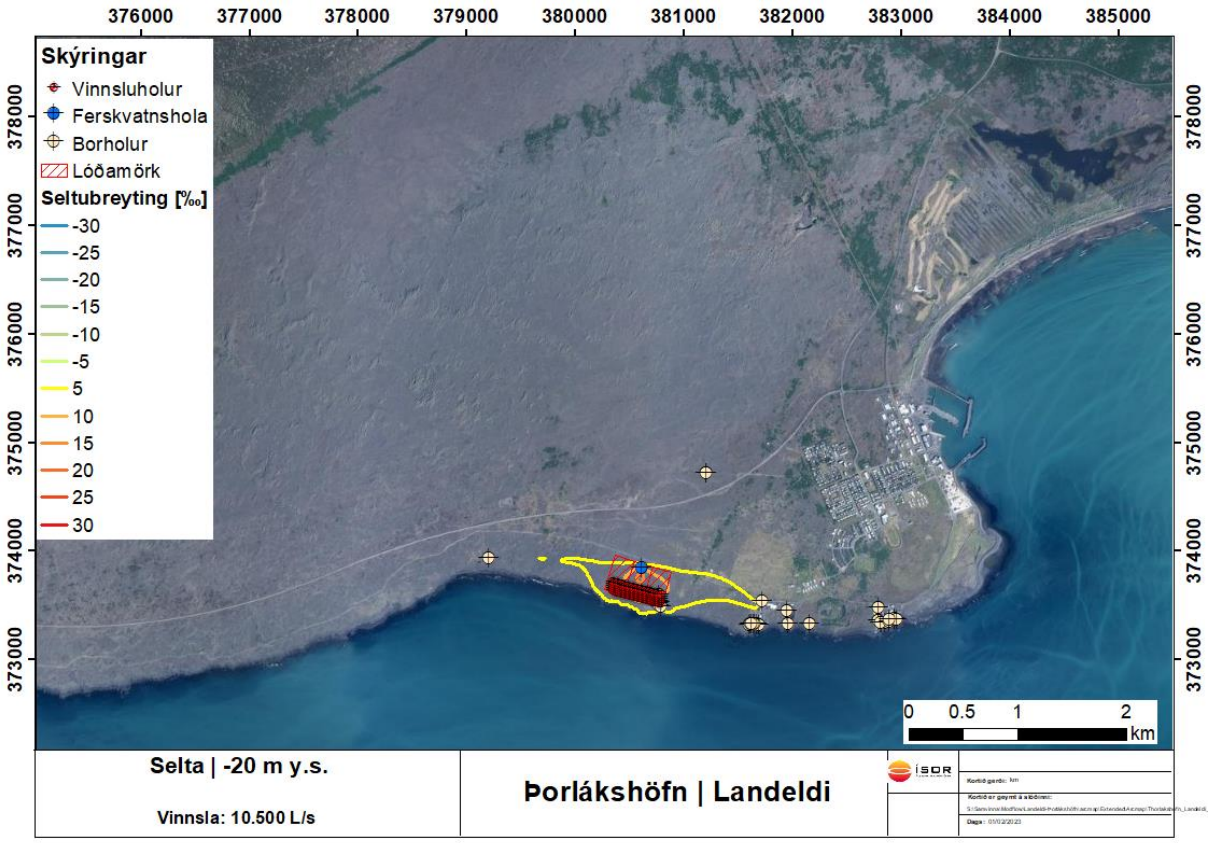
Mynd 24. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) miðað við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 13) eftir 10.500 L/s vinnslu á svæði á Landeldis í 50 ár. Hermdar framtíðarvinnsluholur eru merktar með rauðum punktum.*

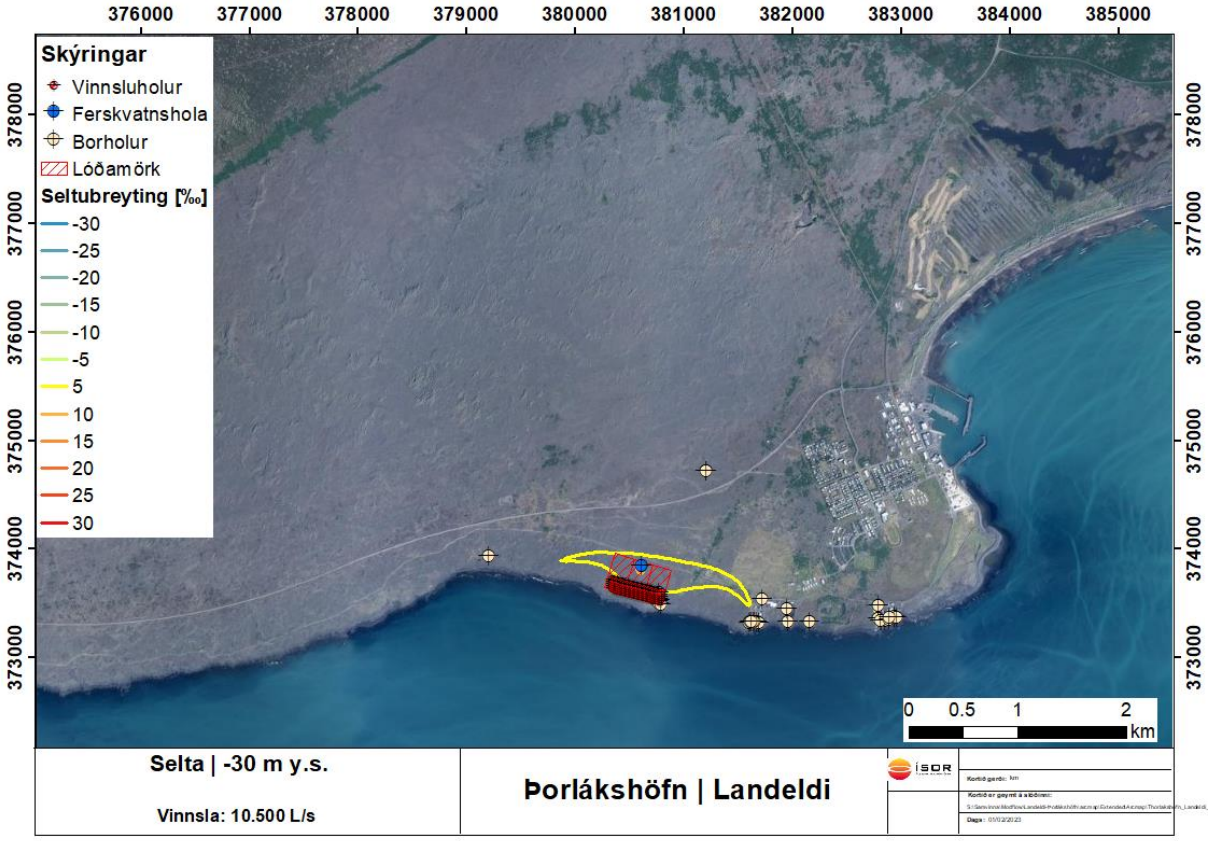


Mynd 25. *Reiknuð breyting á vatnsborði í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis.*

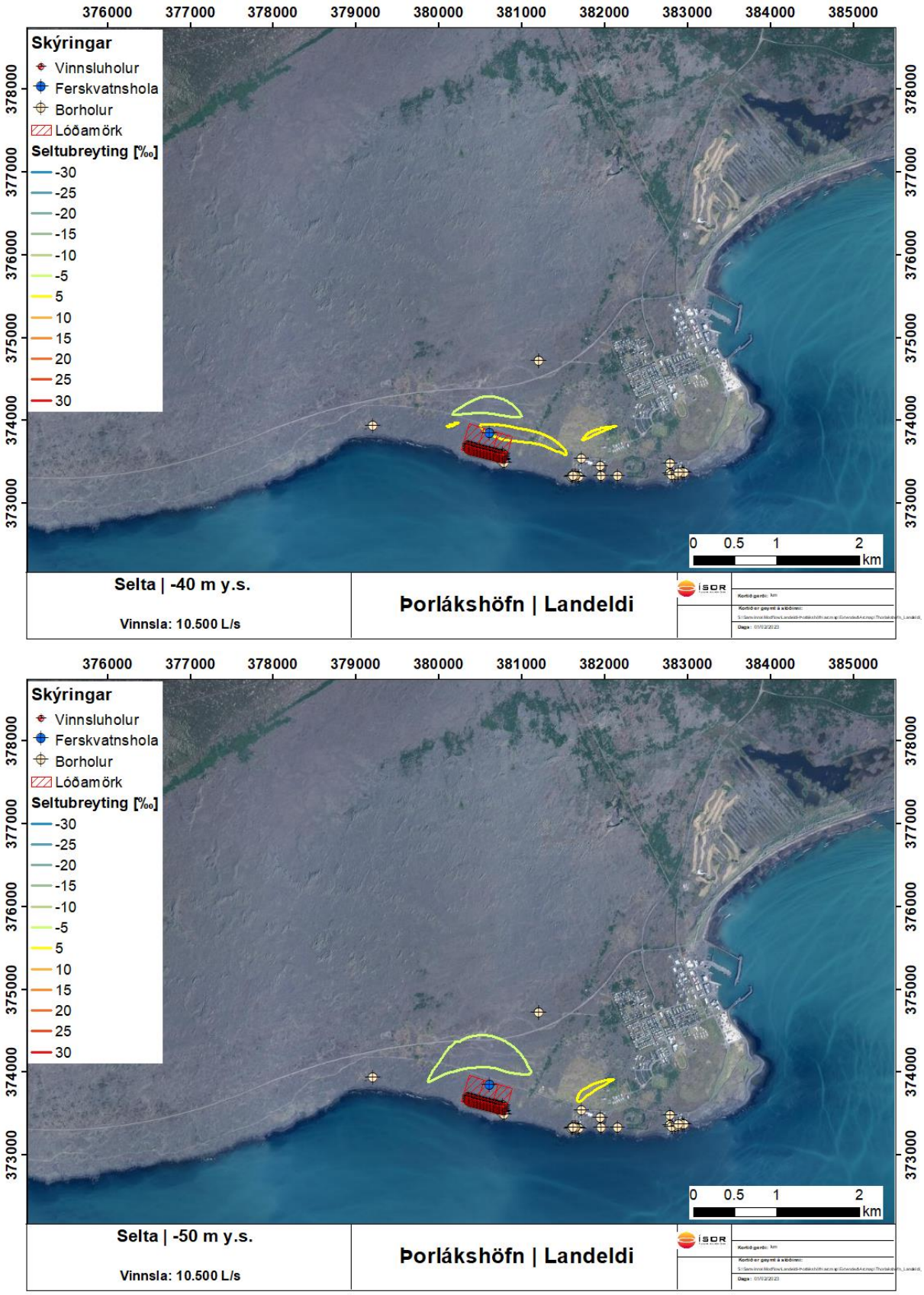


Mynd 26. *Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

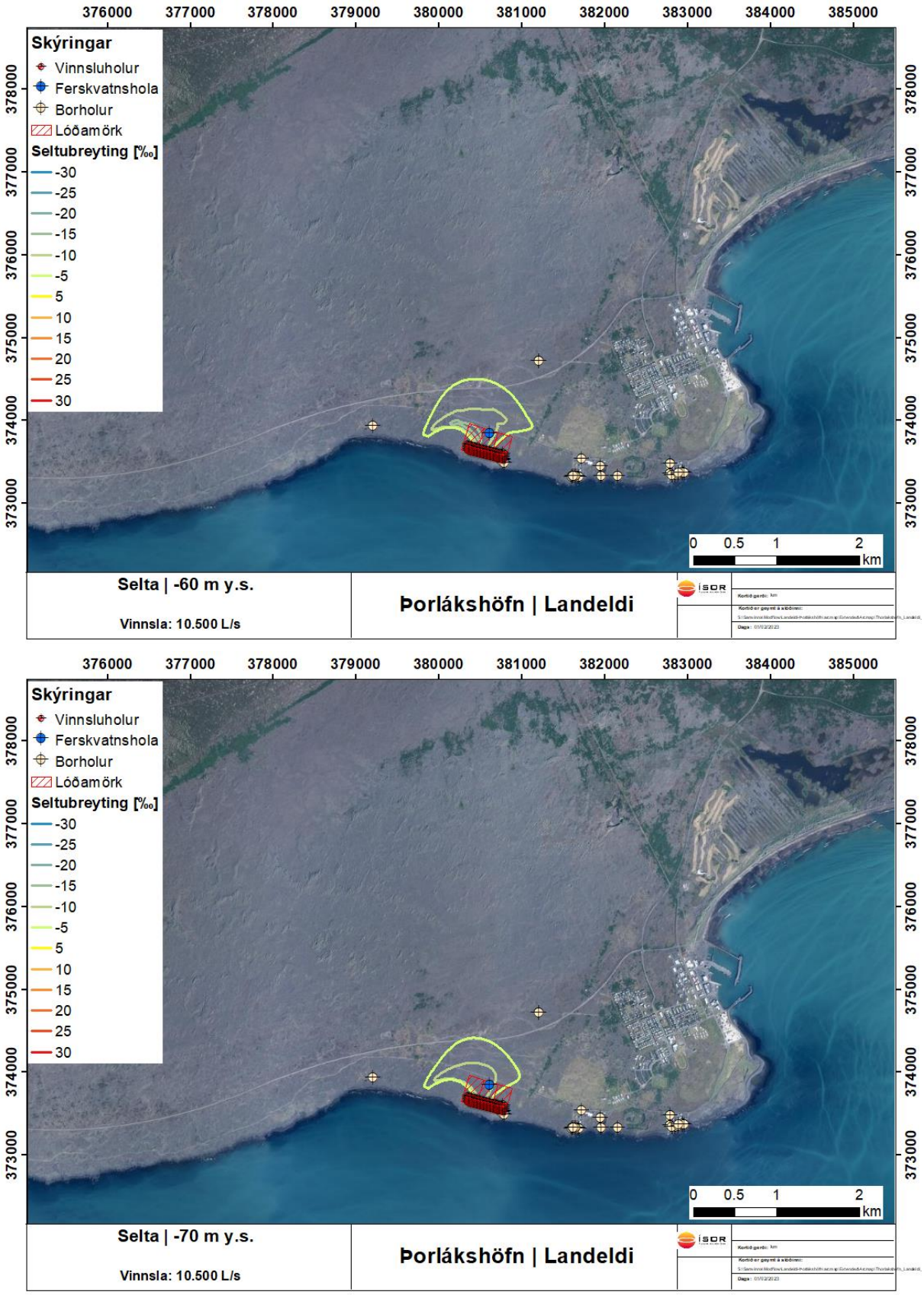




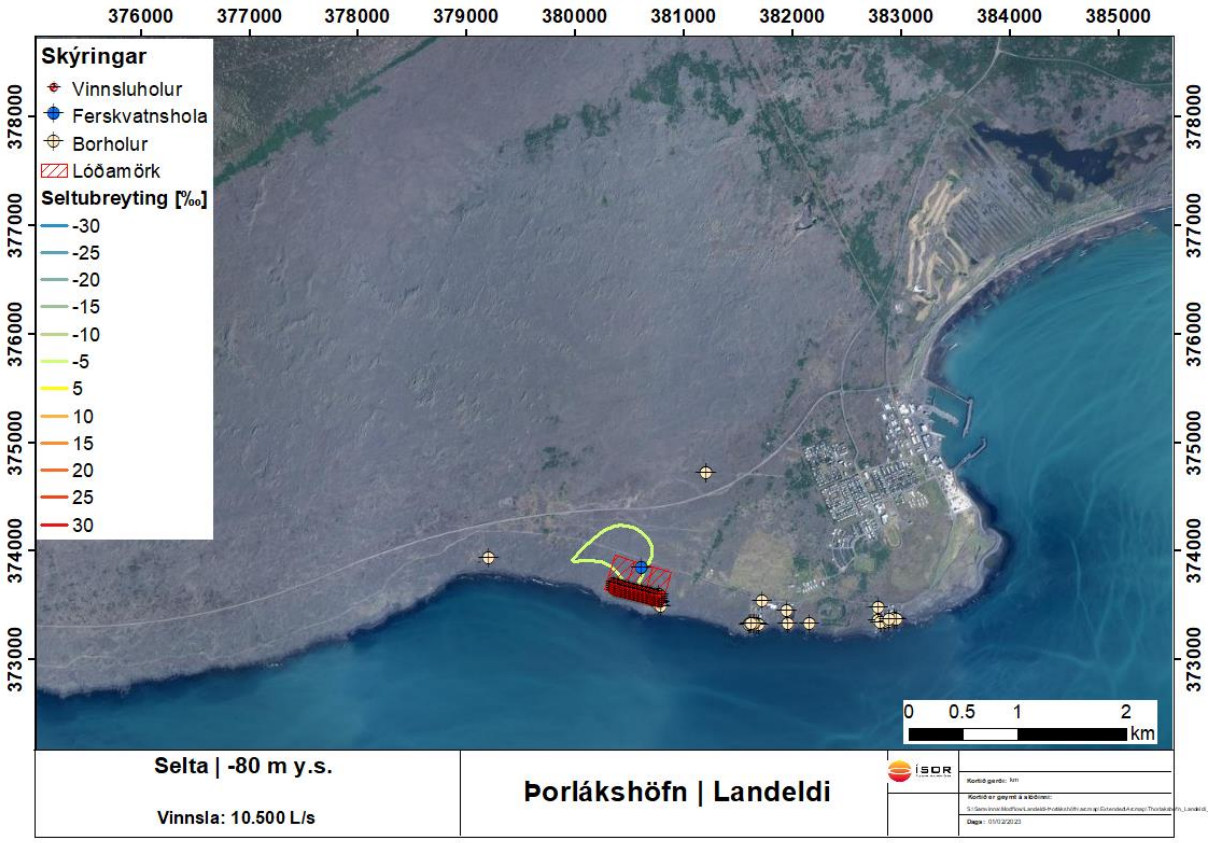
Mynd 26. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*



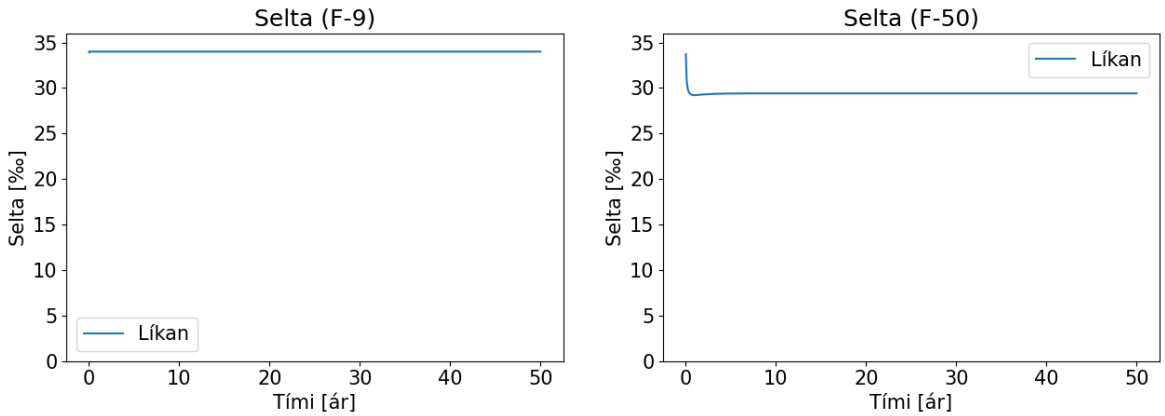
Mynd 26. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*



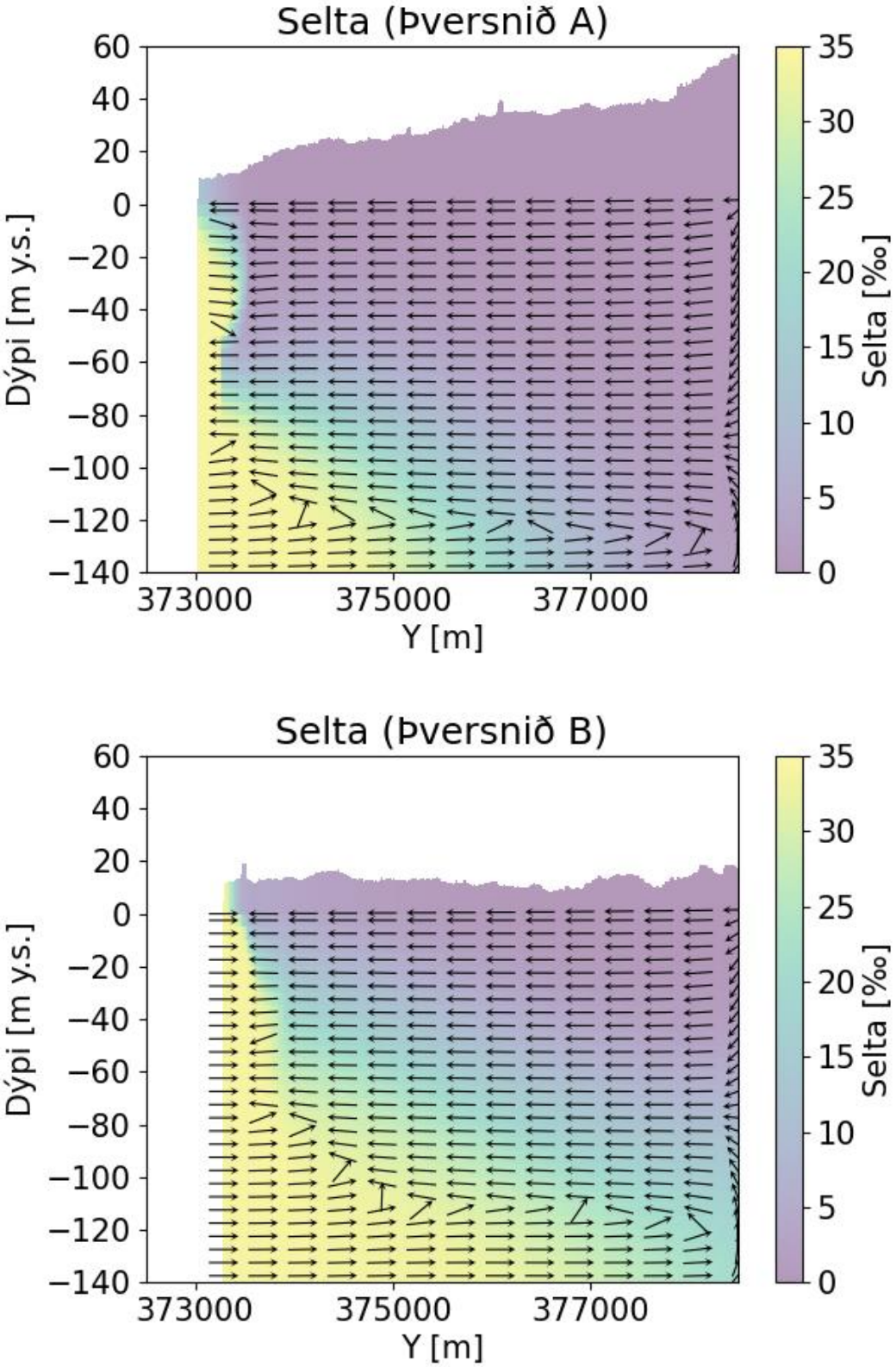
Mynd 26. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*



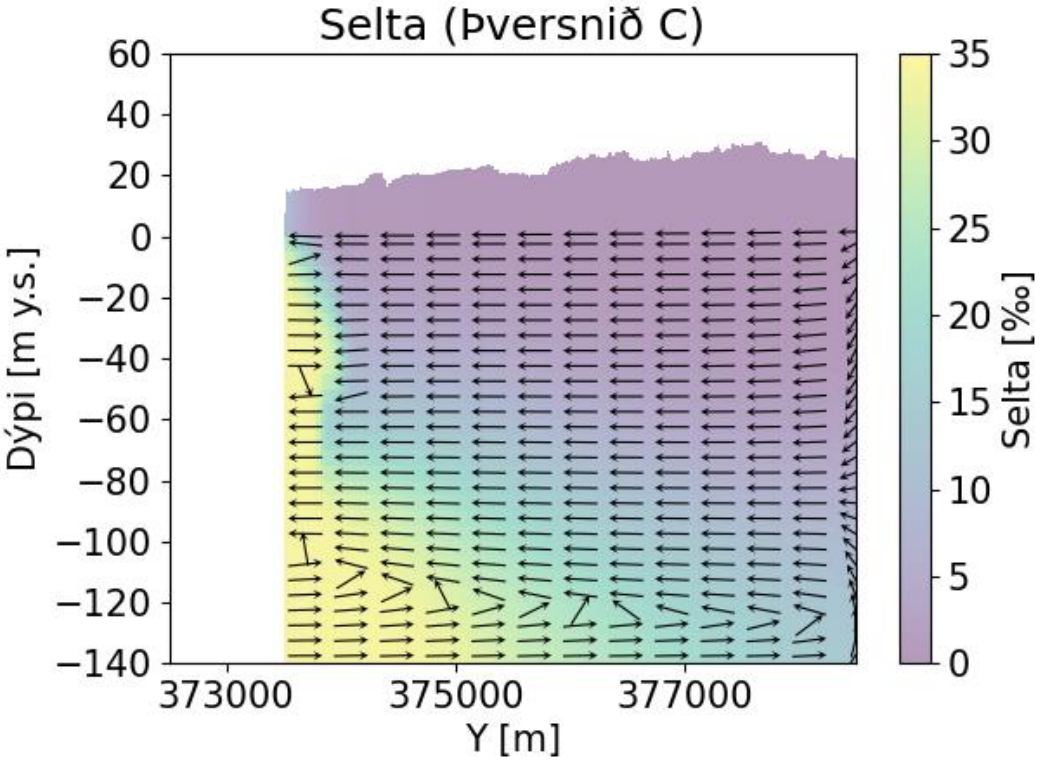
Mynd 26. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

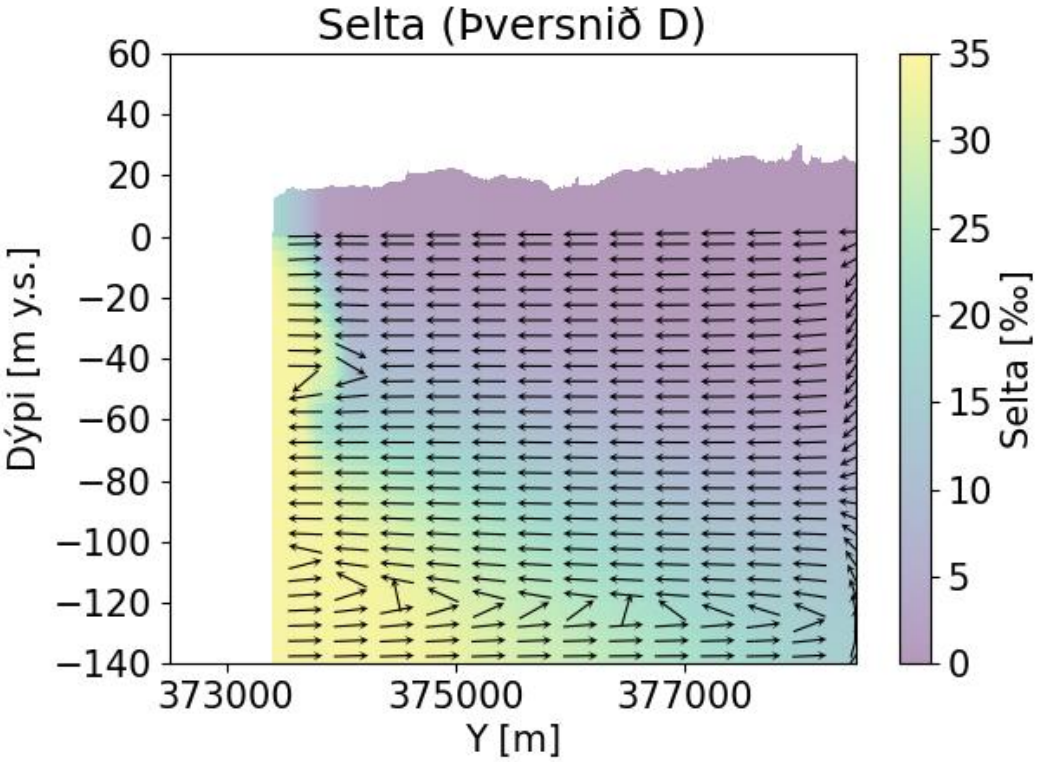


Mynd 27. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu fyrir tvær hugsanlegar nýjar sjótökuholur á svæði Landeldis vegna 10.500 L/s vinnslu á svæðinu í 50 ár.*

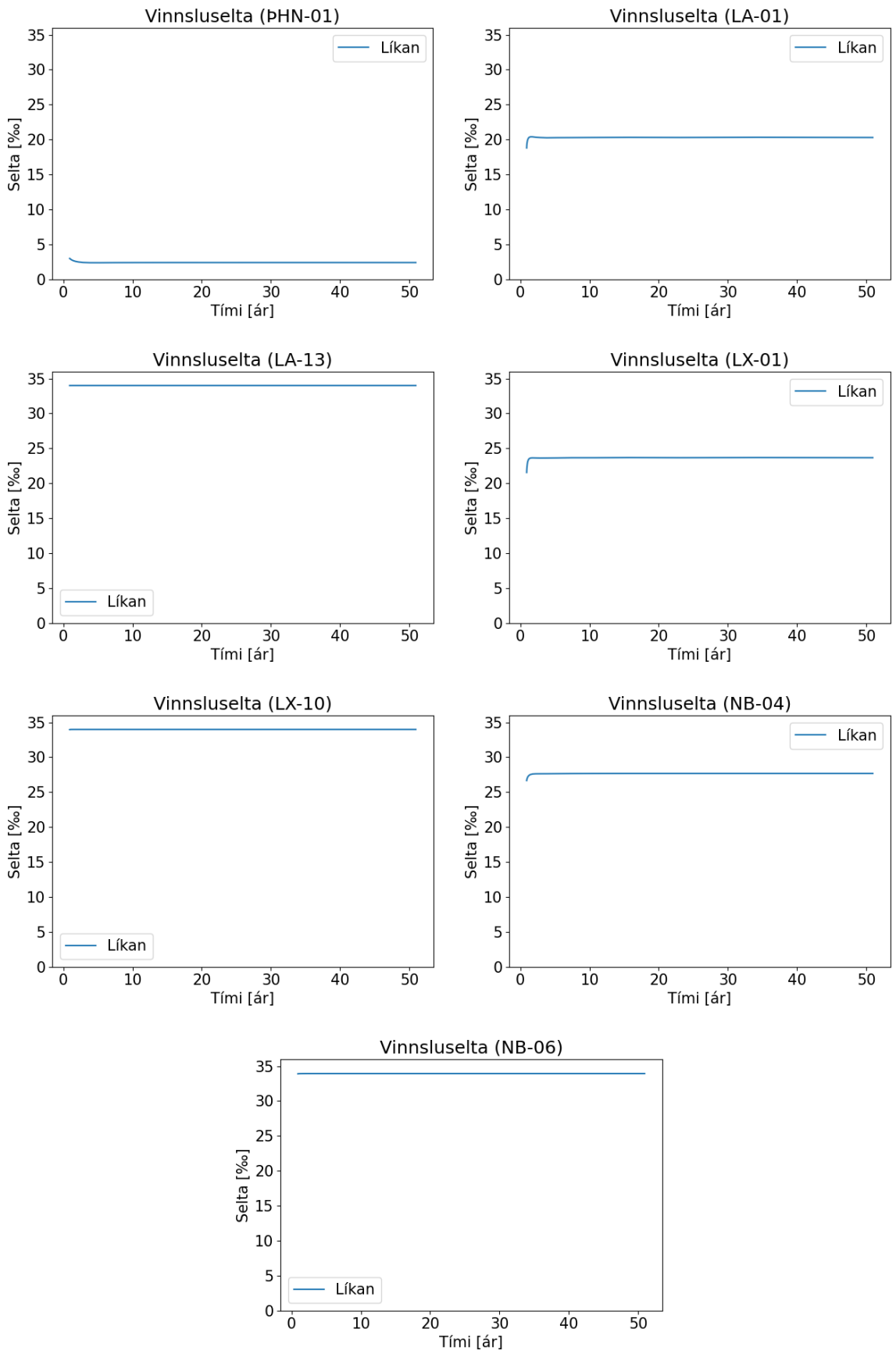


Mynd 28. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár. Stefna rennslis í hverju þversniði er einnig sýnt (stefna örva). Legu þversniða má sjá á mynd 11.*





Mynd 28. *(Frh.) Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár. Stefna rennslis í hverju þversniði er einnig sýnt (stefna örva). Legu þversniða má sjá á mynd 11.*



Mynd 29. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 10.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár.*

4.3.3 3. áfangi: 20.500 L/s

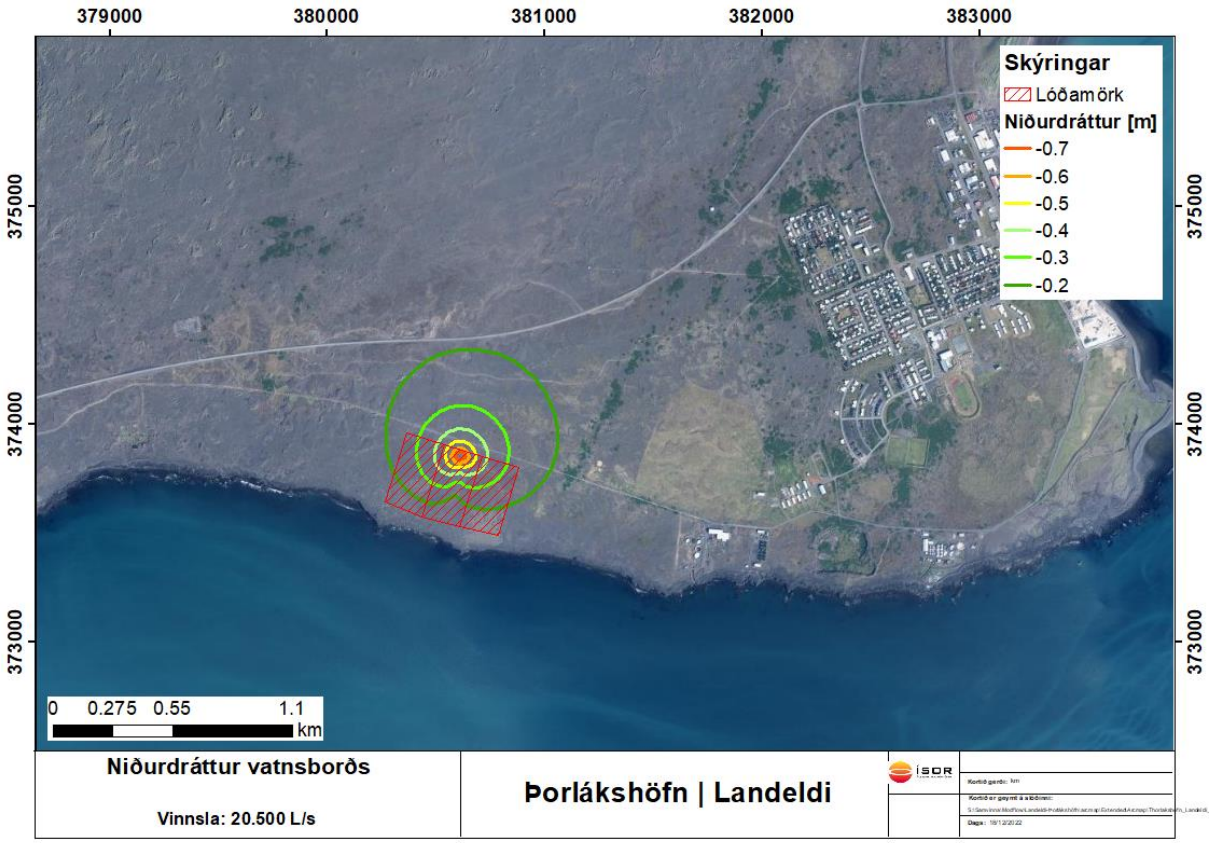
Hermun á vinnslu í 3. áfanga var byggð á hermun á annarri vinnslu á svæðinu. Líkanið var látið herma vinnslu á 20.500 L/s, 20.000 L/s af jarðsjó og 500 L/s af ferskvatni. Jarðsjór var unninn úr samtals 120 nýjum borholum sem staðsettar voru með 20 m millibili á vinnslusvæði Landeldis, þ.a. hver hola lendi í sínum eigin líkankubbi. Holurnar voru 100 m djúpar og opnar milli -50 til -100 m y.s. Ferskvatn var unnið úr einni borholu, LE-21, nýrri holu nyrst á svæðinu, en hún var höfð 20 m djúp og opin niður í botn. Líkanið var látið herma vinnslu í 50 ár.

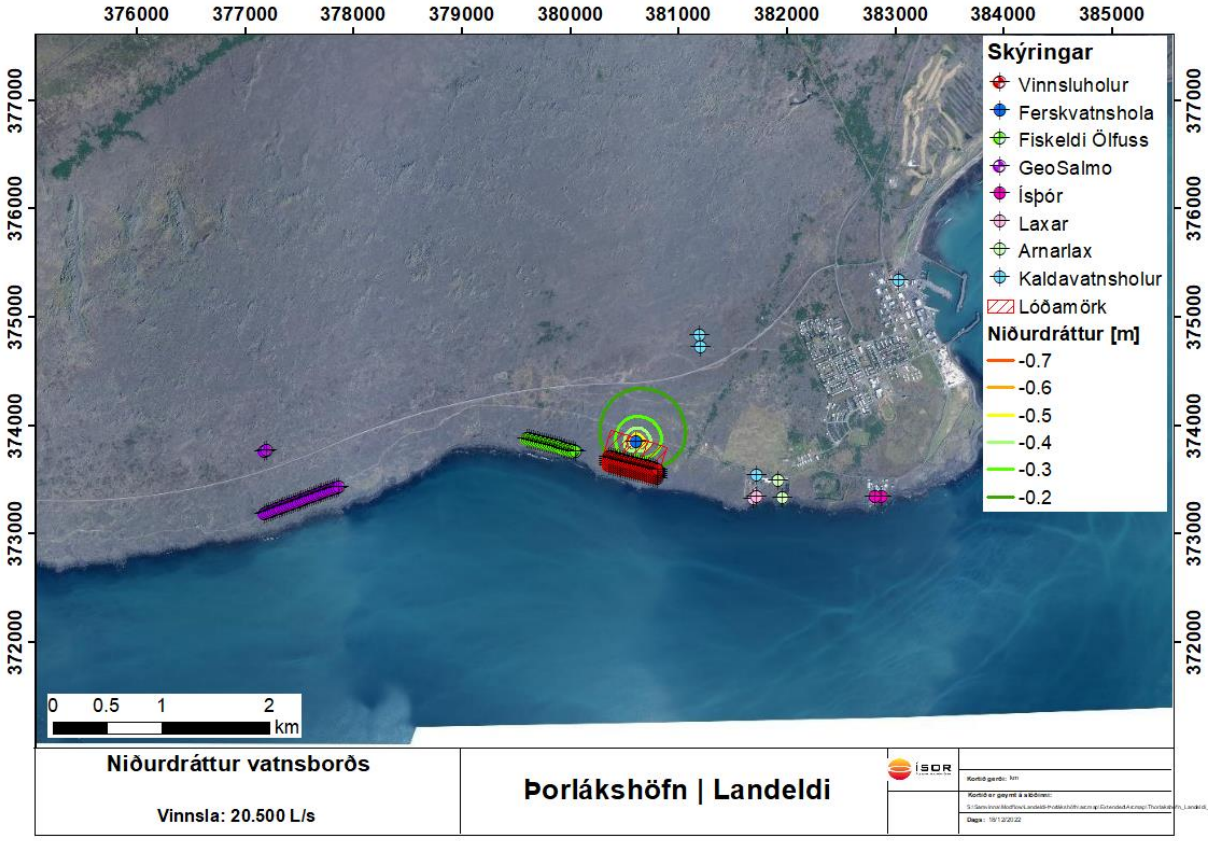
Mynd 30 sýnir niðurdrátt vatnsborðs á svæðinu eftir 50 ára vinnslu af 20.500 L/s, miðað við stöðu vatnsborðs við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 13). Af myndinni sést að vatnsborðið tekur mestum breytingum í kringum vinnslusvæði Landeldis. Vatnsborðsbreytingin þar er ~1 m nyrst á vinnslusvæðinu, en ~20 cm niðurdráttur sem teygir sig um 450 m í norður. Þetta er svipaður vatnsborðsniðurdráttur og í 1. og 2. áfanga sem gefur til kynna að magn ferskvatnsstöku stjórni einna helst stærð vatnsborðsniðurdráttar á svæðinu. Á mynd 31 sést aðrennsli grunnvatns m.v. 20.500 L/s vinnslu. Ef myndir 7 og 31 eru bornar saman má sjá að lítil breyting verður á aðrennsli grunnvatns frá náttúrulegu ástandi við aukna vinnslu Landeldis. Þetta gefur til kynna að sjótökuholur Landeldis séu að mestu leiti að vinna beint úr jarðsjó, en aðrennsli jarðsjávar er frá sjónum við strandlengjuna.

Í kringum vinnslusvæði Laxa og Ísþórs er vatnsborðsbreytingin ómarktæk. Mynd 32 sýnir niðurdrátt í nokkrum borholum nálægt Þorlákshöfn. Þar sést einnig að engin marktæk breyting er á vatnsborði utan við svæði Landeldis.

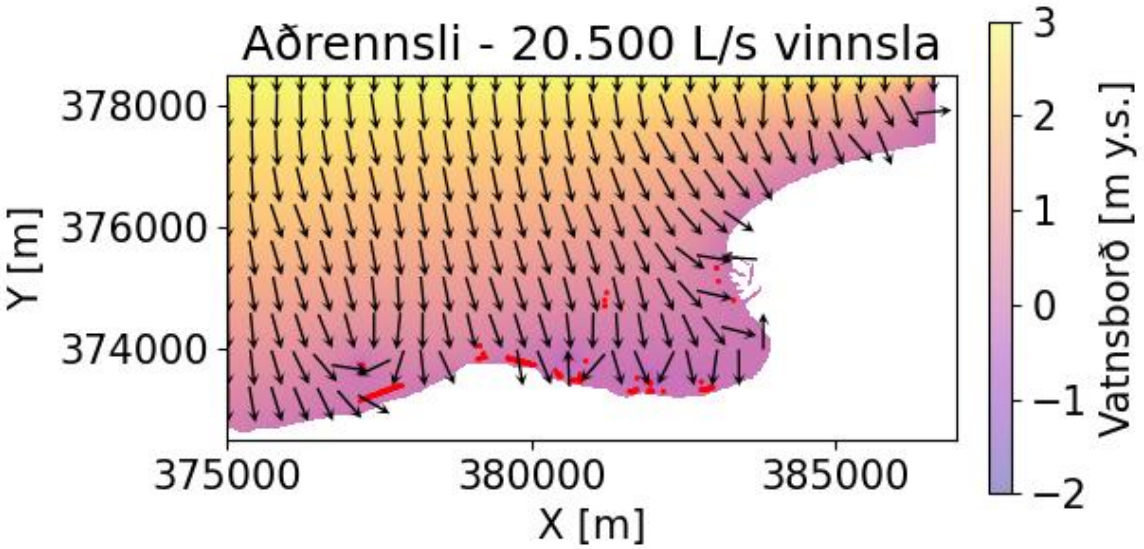
Mynd 33 sýnir breytingu á seltu á líkanasvæðinu eftir 50 ára vinnslu af 20.500 L/s, miðað við stöðu seltu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15). Af henni má sjá að seltan eykst á yfirborði nærri vinnslusvæði Landeldis. Einnig eykst selta lítillega nálægt yfirborði nærri vinnslusvæðum Ísþórs, Laxa og Arnarlax. Þegar komið er á meira dýpi sést að seltan hefur minnkað til norðurs frá vinnslusvæði Landeldis á meðan seltan hefur aukist við strandlengjuna. Þetta gefur til kynna að ferskvatnslinsan hafi þykknað þegar komið er lengra inn á land en þynnst út nær strandlengjunni, og myndar ferskvatnskeilu til norðurs. Á mynd 34 sést að þessi þykknun ferskvatnslinsunnar þýðir að eitthvert magn af ferskvatni dregst í nýjar vinnsluholur á svæðinu. Samkvæmt líkaninu þá minnkar selta um 5 - 10‰ frá fullsöltum sjó í 5 - 10 nýjum vinnsluholum eftir 20.500 L/s vinnslu í 50 ár. Þetta má útskýra þannig að jarðsjór verður tekinn úr blandlagi á milli fullsalts jarðsjávar og ferskvatns. Þar sem blandlagið er tilkomið vegna blöndunar ferskvatns og jarðsjávar þýðir það að einhver hluti vatns sem unnið er úr nýjum vinnsluholum á uppruna sinn sem ferskvatn. Áætla má að um 1% af heildarvinnslu úr sjótökuholum Landeldis sé ferskvatn að uppruna þó ekki sé um eiginlega ferskvatnsvinnslu að ræða. Vatn sem unnið er úr nýjum vinnsluholum á svæðinu væri að öllum líkindum ísalt grunnvatn í náttúrulegu ástandi, frekar en fullferskt grunnvatn. Því er, í raun, ekki um raunverulega ferskvatnsvinnslu að ræða.

Á mynd 35 eru þversnið sem sýna seltudreifinguna á svæðinu. Á þversniðum C og D sést aukið innflæði fullsalts sjávar á 60–100 m dýpi við vinnslusvæði Landeldis. Af myndunum sést greinilega að ferskvatnslinsan þykknar til norðurs. Þversnið D sýnir að myndast hefur einskonar ferskvatnsinnskot, e.t.v. vegna þess að innflæði sjávar heldur ekki við aukna vinnslu á svæðinu Þetta passar við seltuminnkun sem sést í einhverjum vinnsluholum (mynd 34). Á þversniðum A og B sést engin breyting m.v. sömu þversnið fyrir núverandi vinnslu. Þetta gefur til kynna, ásamt mynd 36 af vinnsluseltu í nokkrum holum á svæðinu, að aukin vinnsla á svæði Landeldis hafi ómarktæk áhrif á aðra vinnslu nálægt Þorlákshöfn.

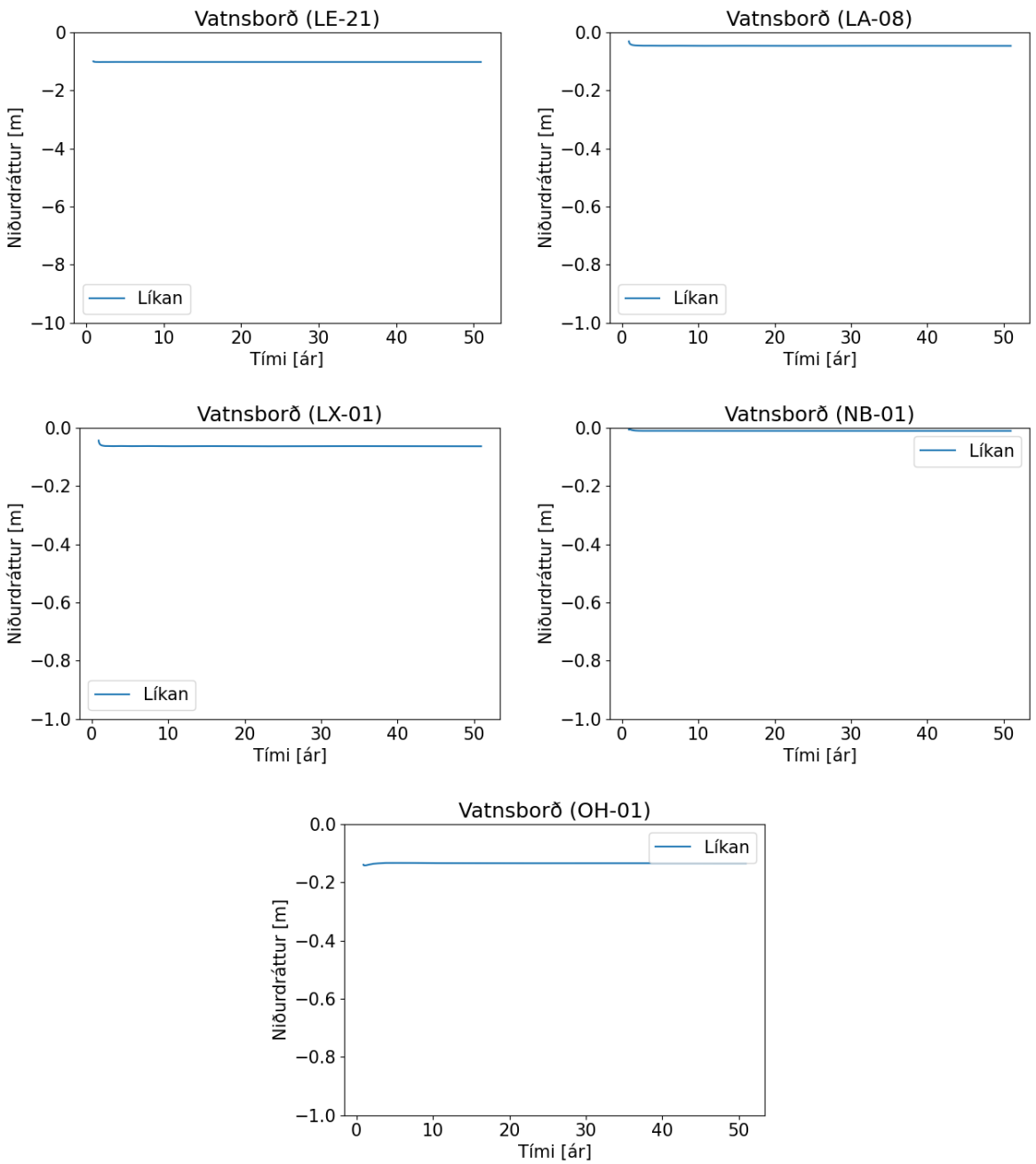




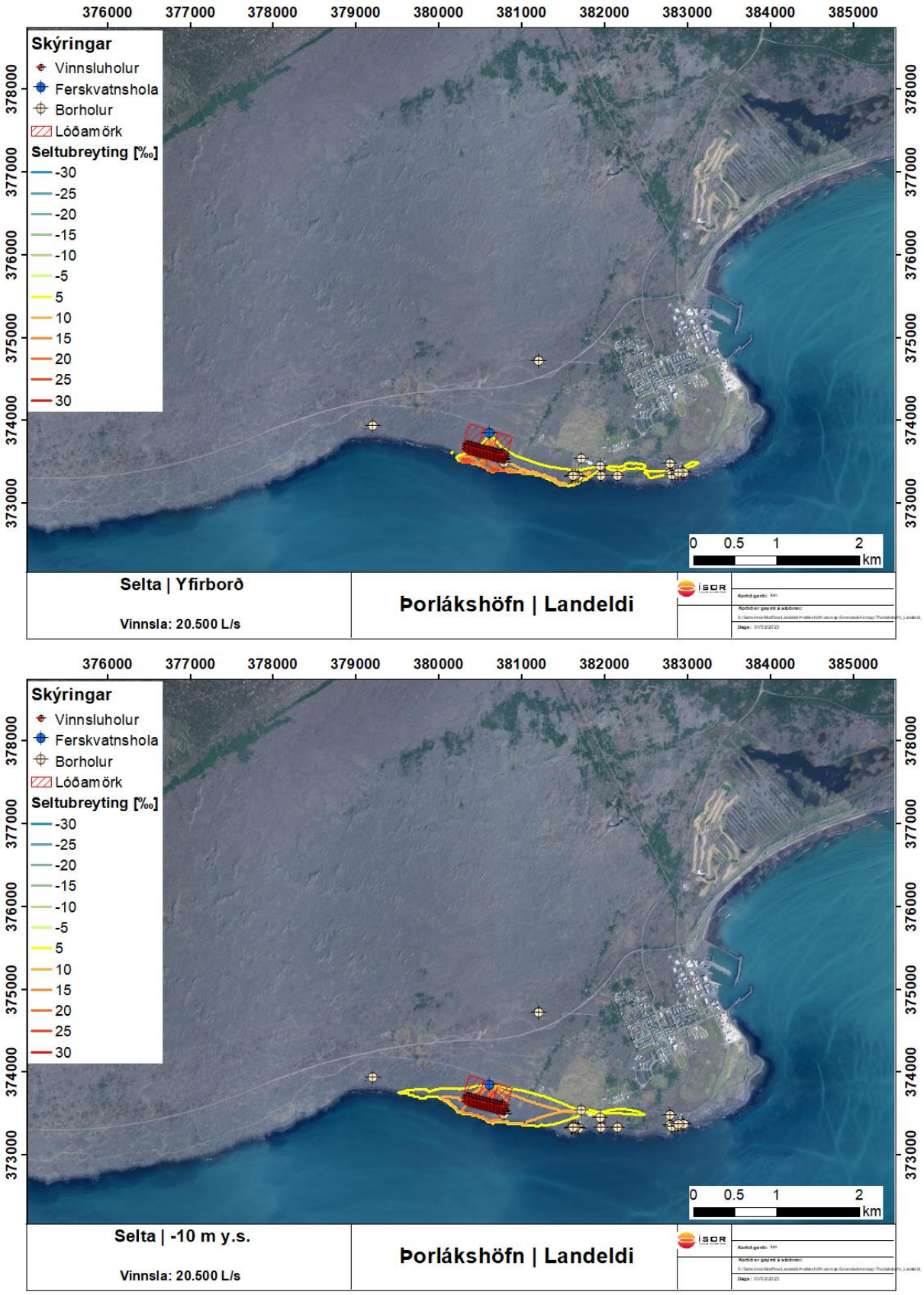
Mynd 30. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) miðað við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 13) eftir 20.500 L/s vinnslu á svæði á Landeldis í 50 ár. Hermdar framtíðarvinnsluholur eru merktar með rauðum punktum.*



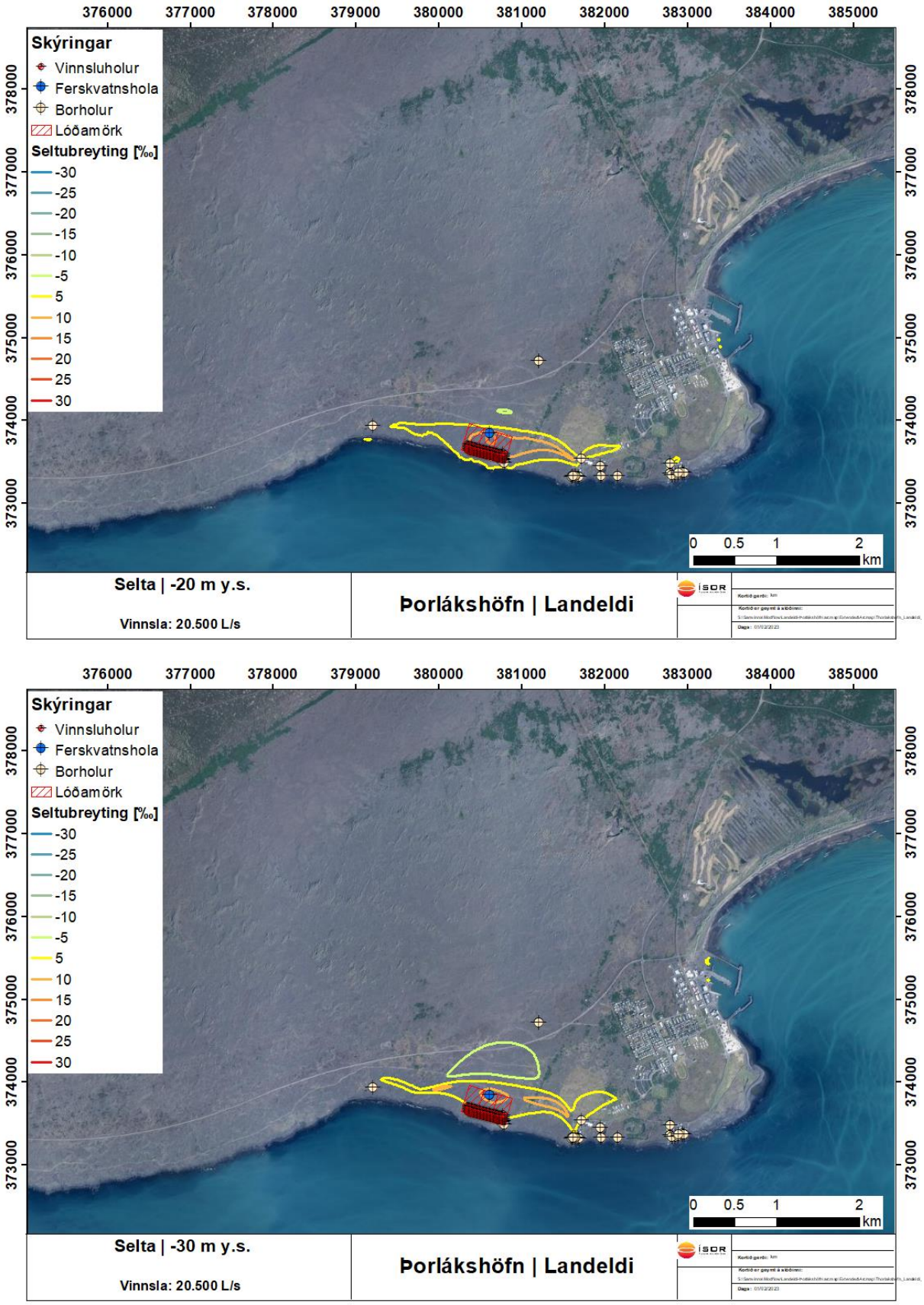
Mynd 31. *Reiknað vatnsborð (m y.s.) og grunnvatnsrennsli í efsta lagi líkansins fyrir 20.500 L/s vinnslu. Rauðir punktar sýna staðsetningu borholna á svæðinu.*



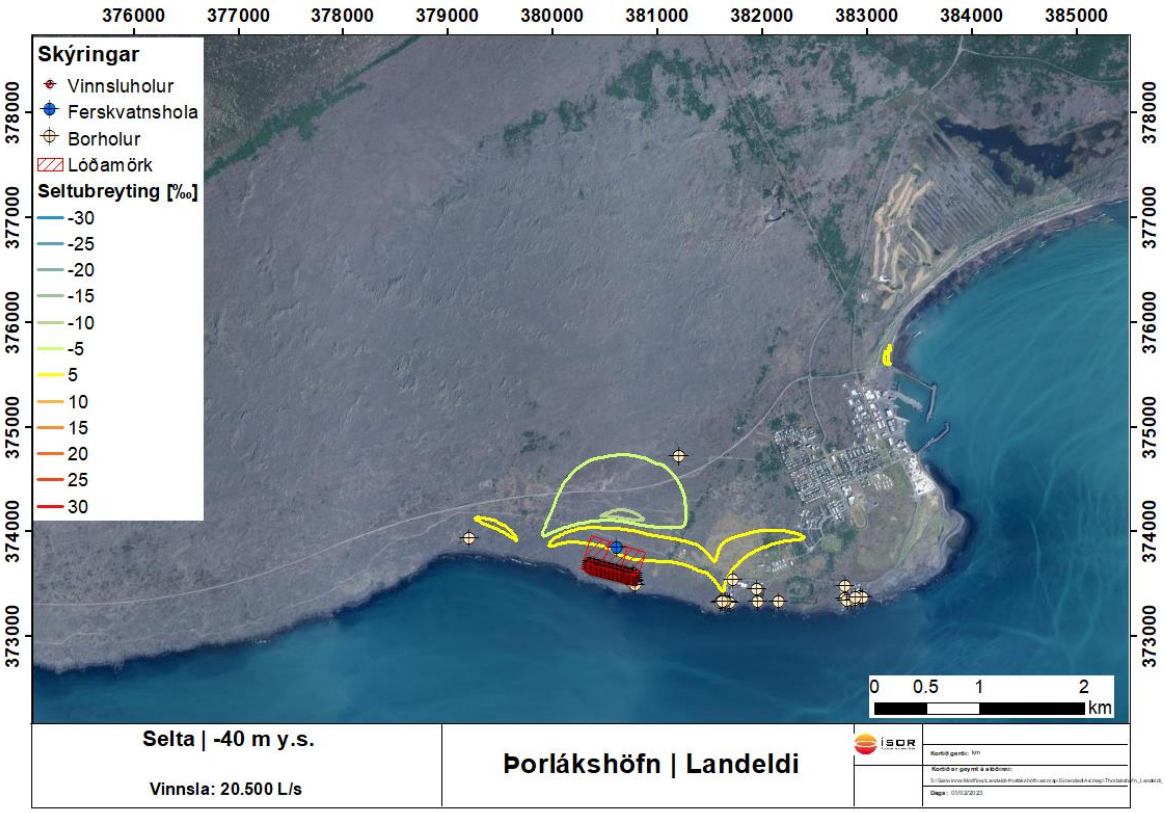
Mynd 32. *Reiknuð breyting á vatnsborði í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis.*

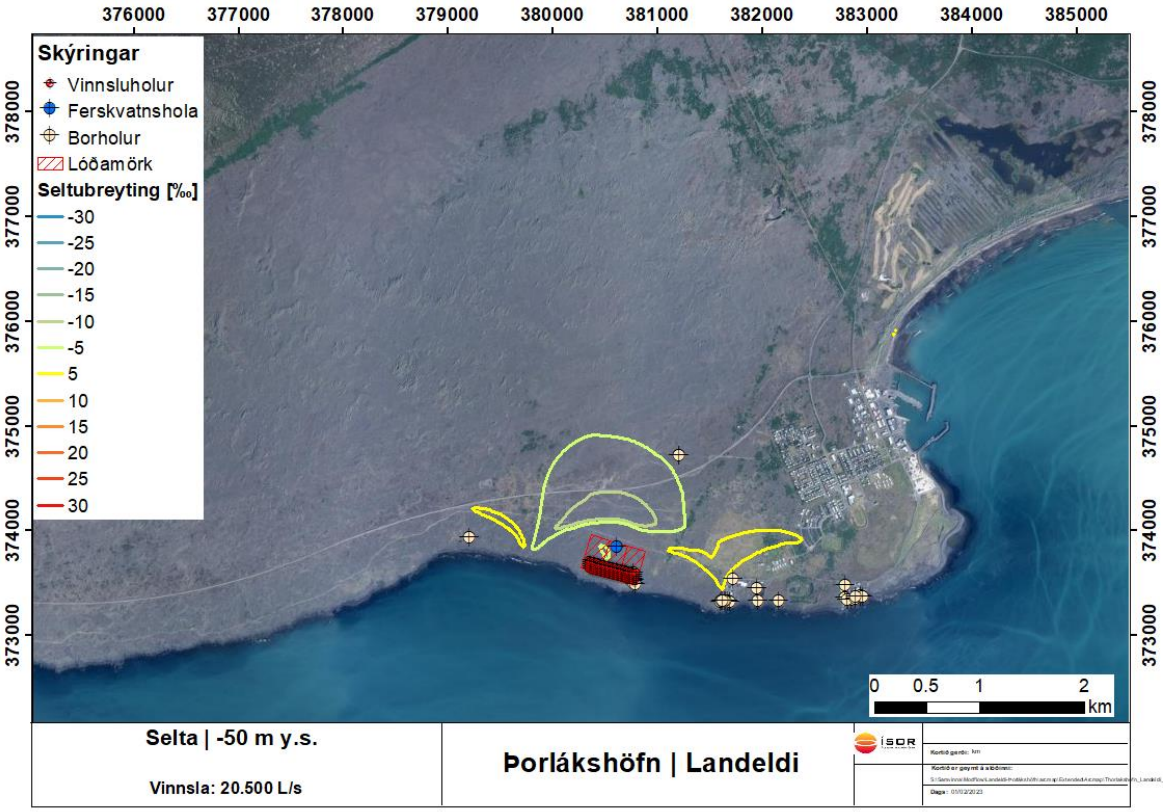


Mynd 33. *Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

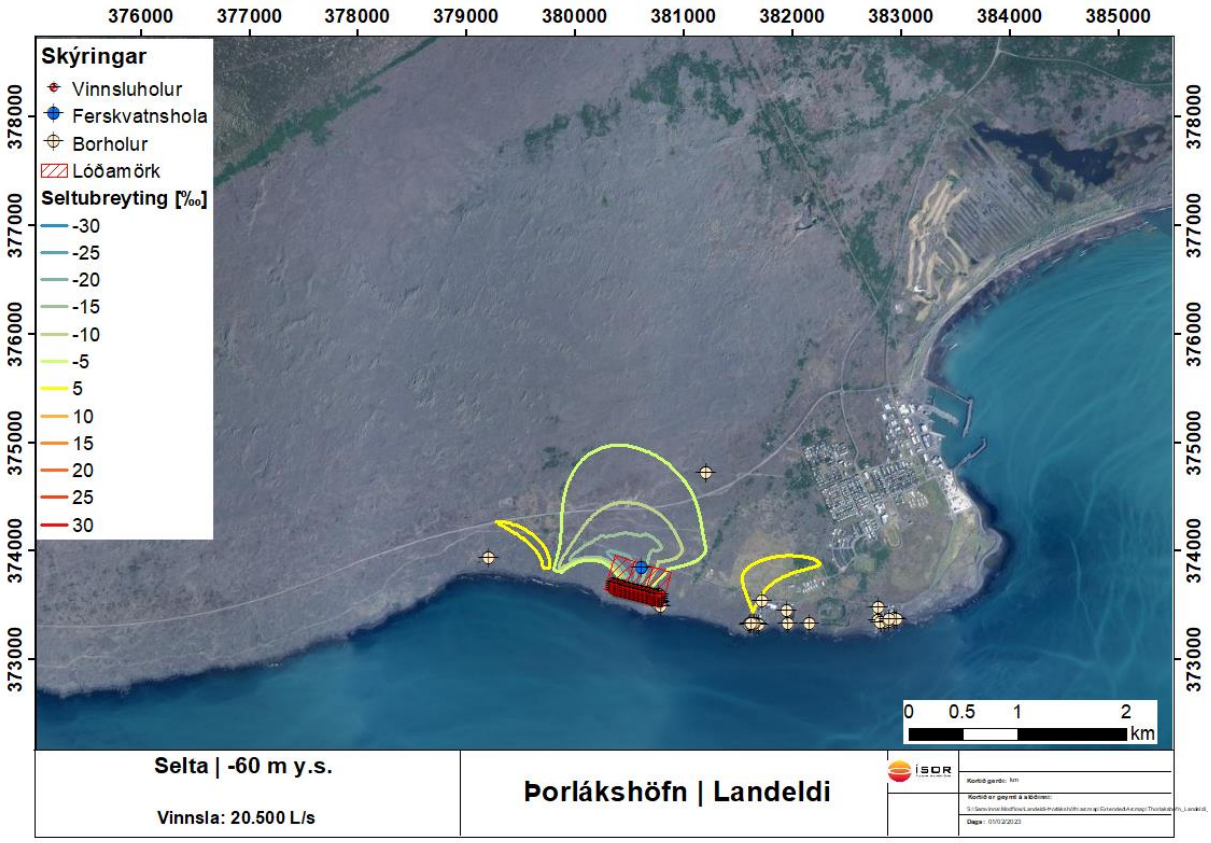


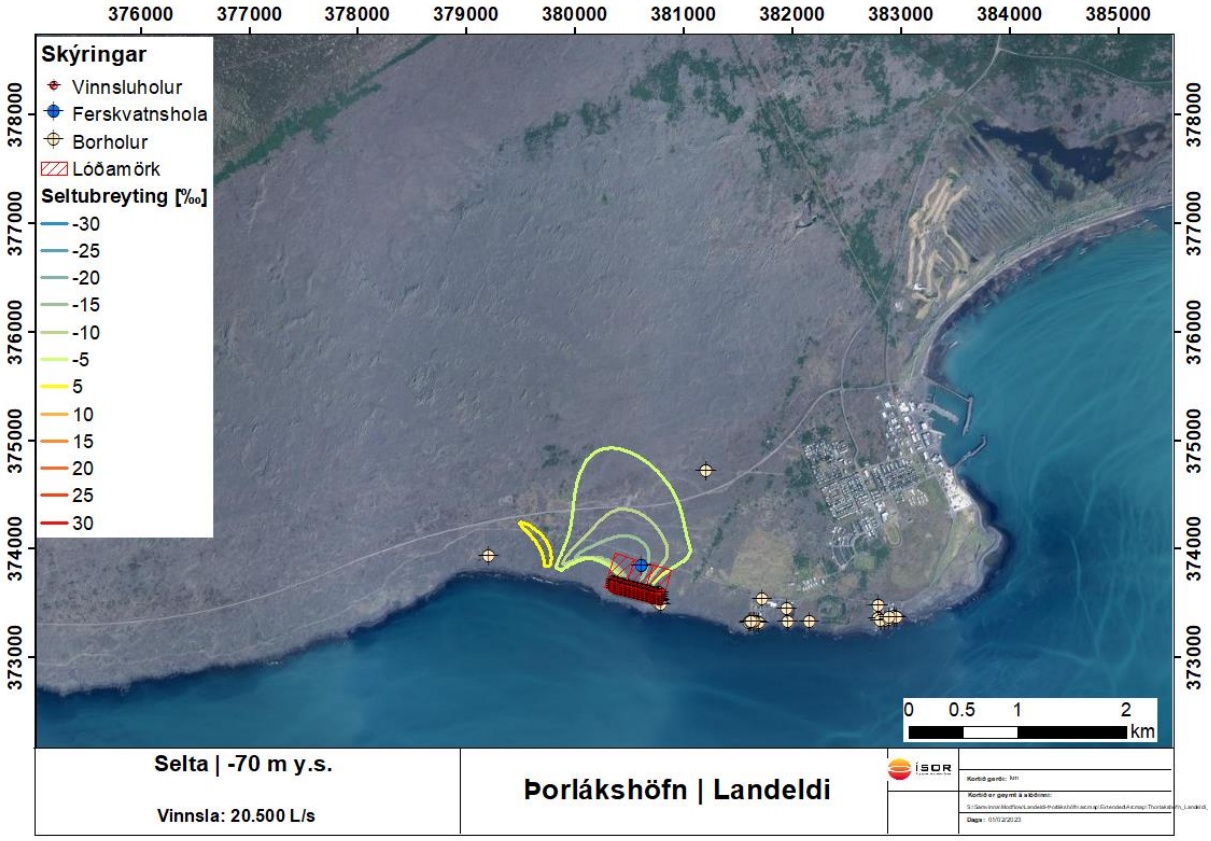
Mynd 33. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*



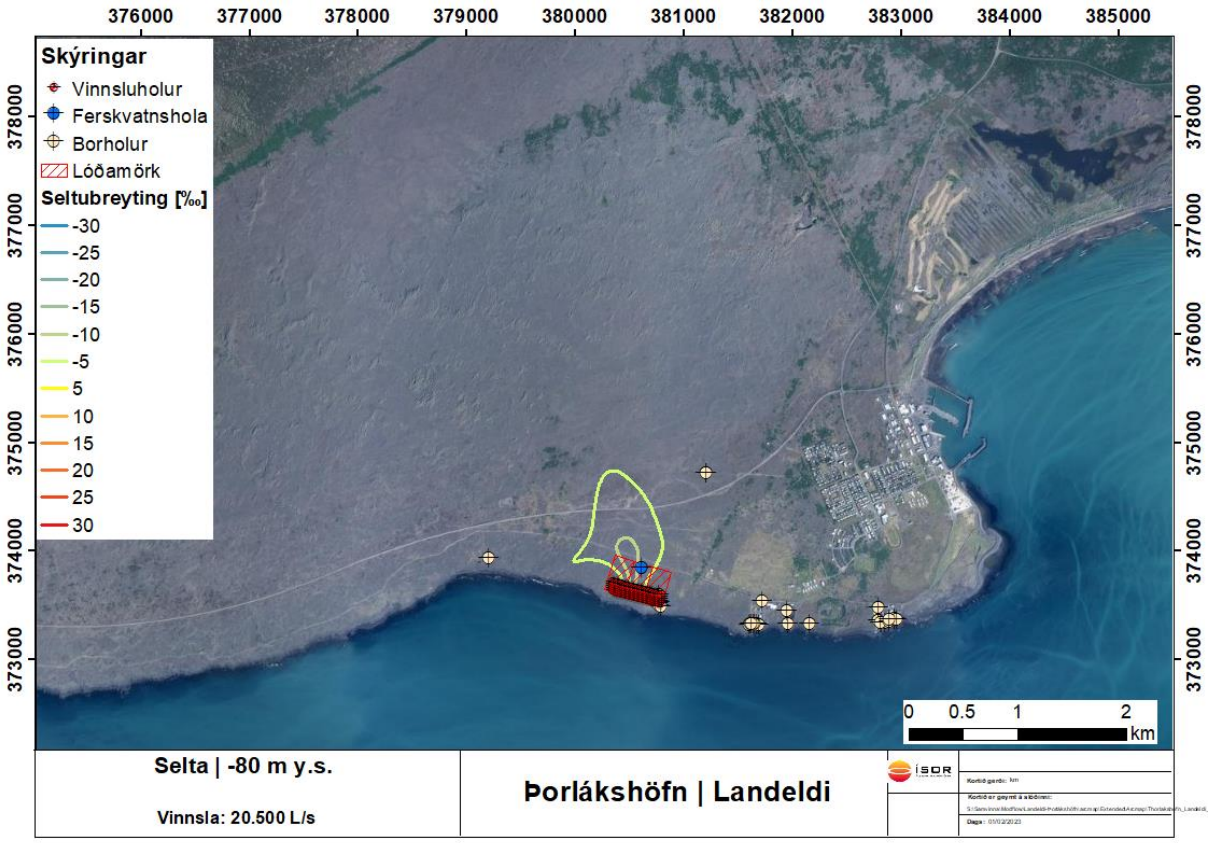


Mynd 33. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

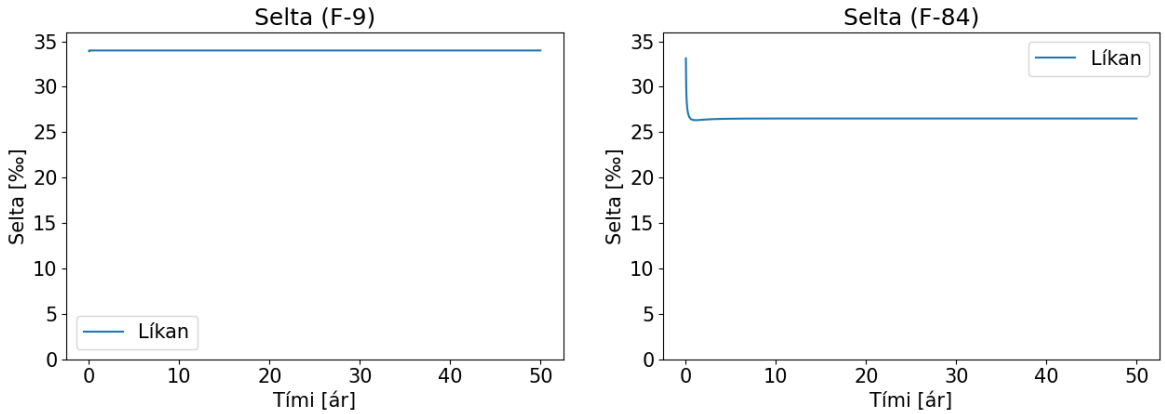




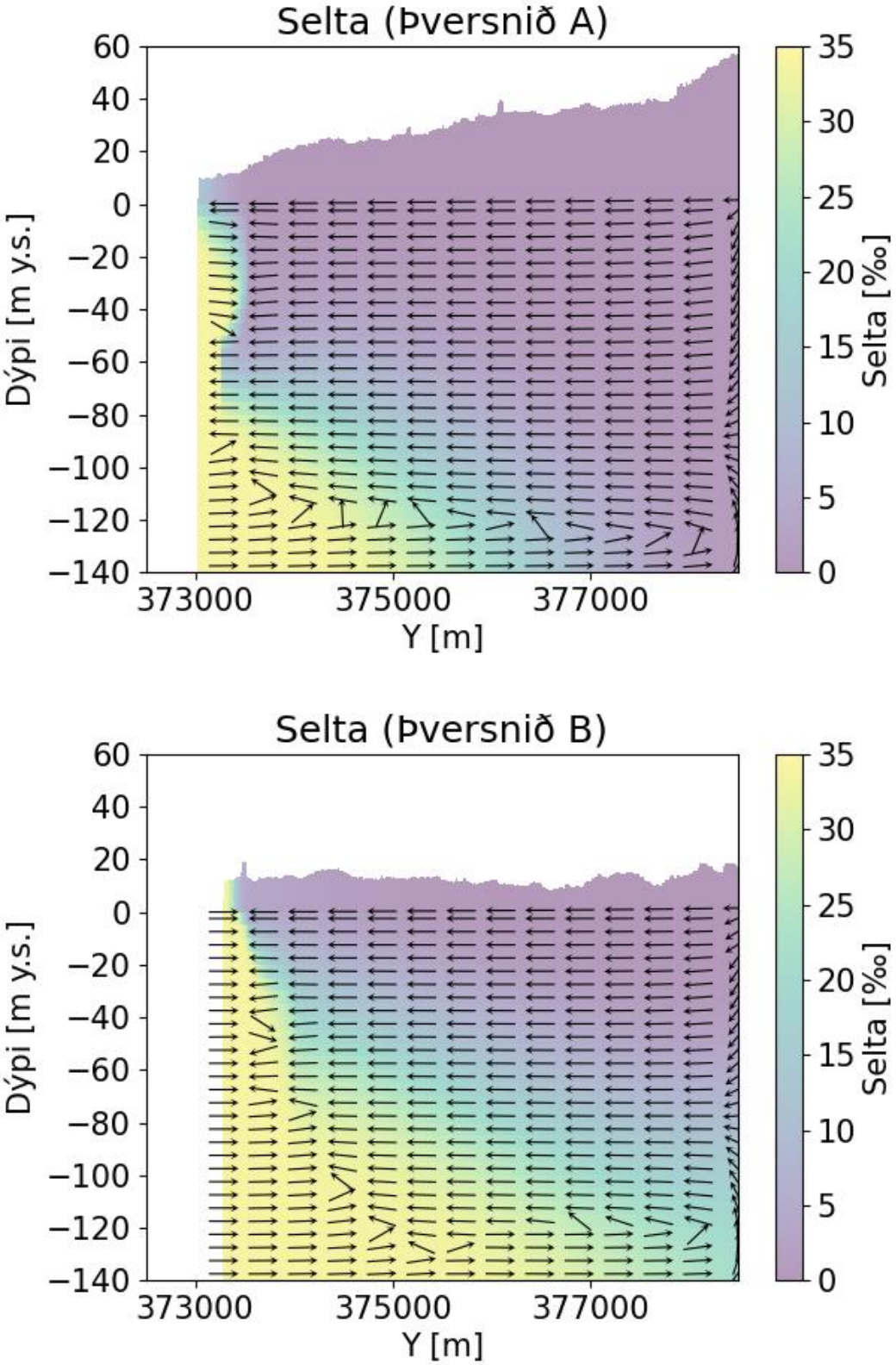
Mynd 33. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*



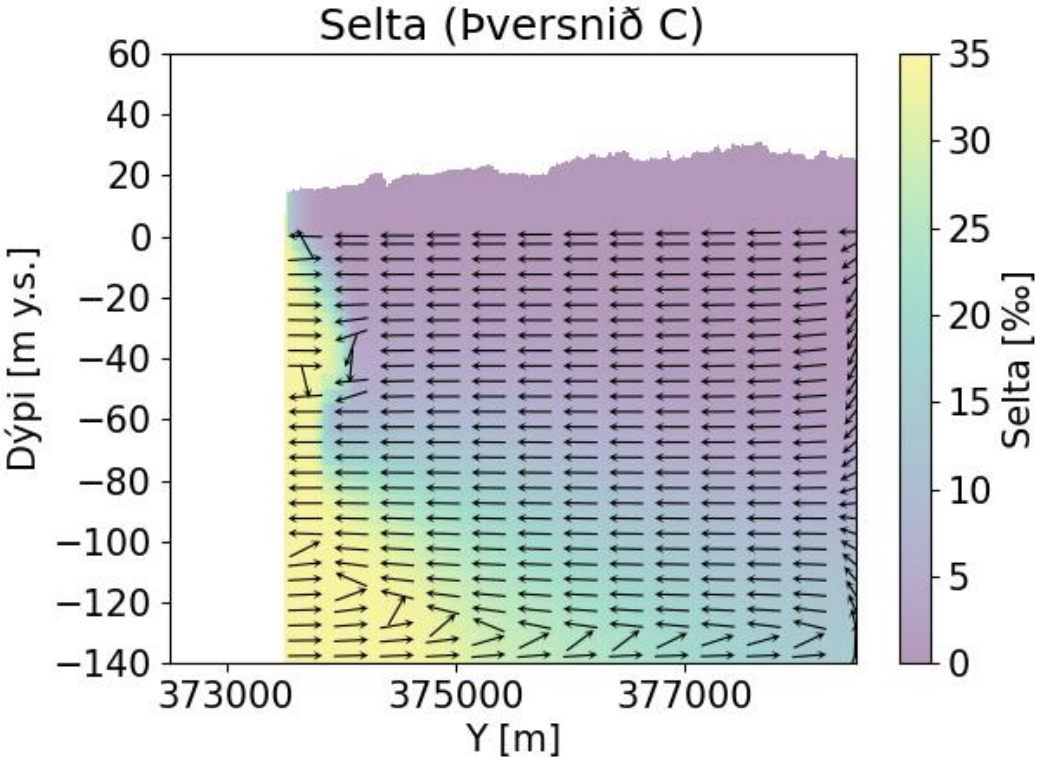
Mynd 33. *(Frh.) Breyting á seltu miðað við seltudreifingu við aðra vinnslu á svæðinu (mynd 15) við 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár fyrir mismunandi dýpi.*

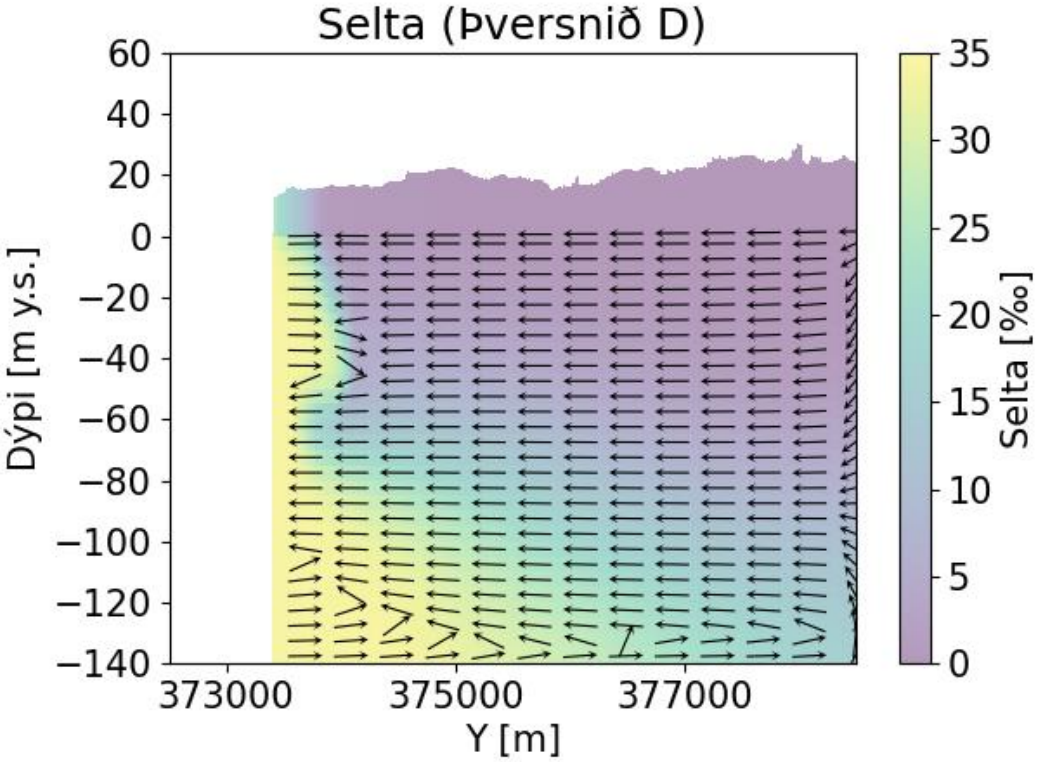


Mynd 34. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu fyrir tvær hugsanlegar nýjar sjótökuholur á svæði Landeldis vegna 20.500 L/s vinnslu á svæðinu í 50 ár.*

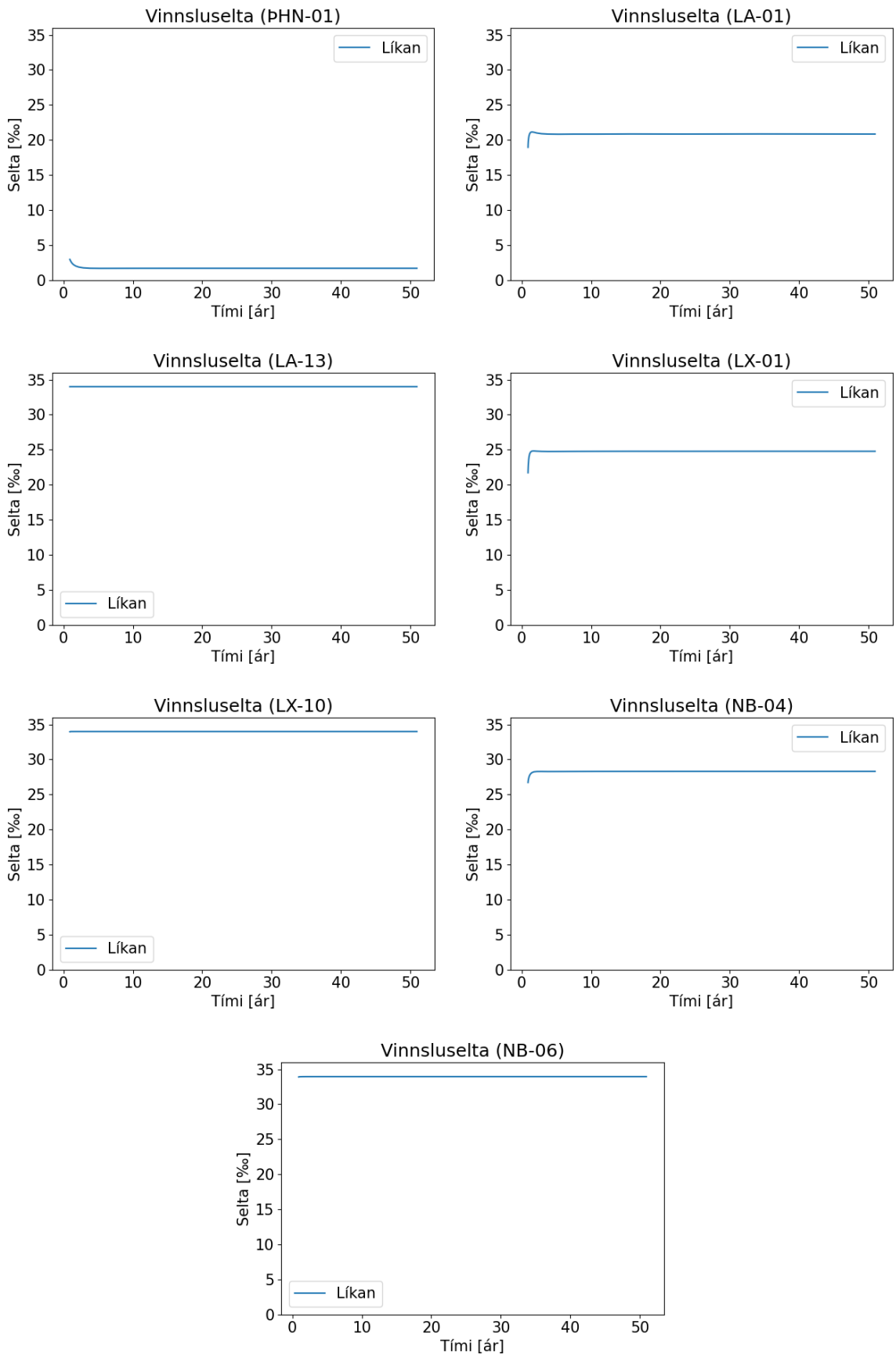


Mynd 35. *Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár. Stefna rennslis í hverju þversniði er einnig sýnt (stefna örva). Legu þversniða má sjá á mynd 11.*





Mynd 35. *(Frh.) Þversnið sem sýna dreifingu seltu með dýpi eftir 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár. Stefna rennslis í hverju þversniði er einnig sýnt (stefna örva). Legu þversniða má sjá á mynd 11.*



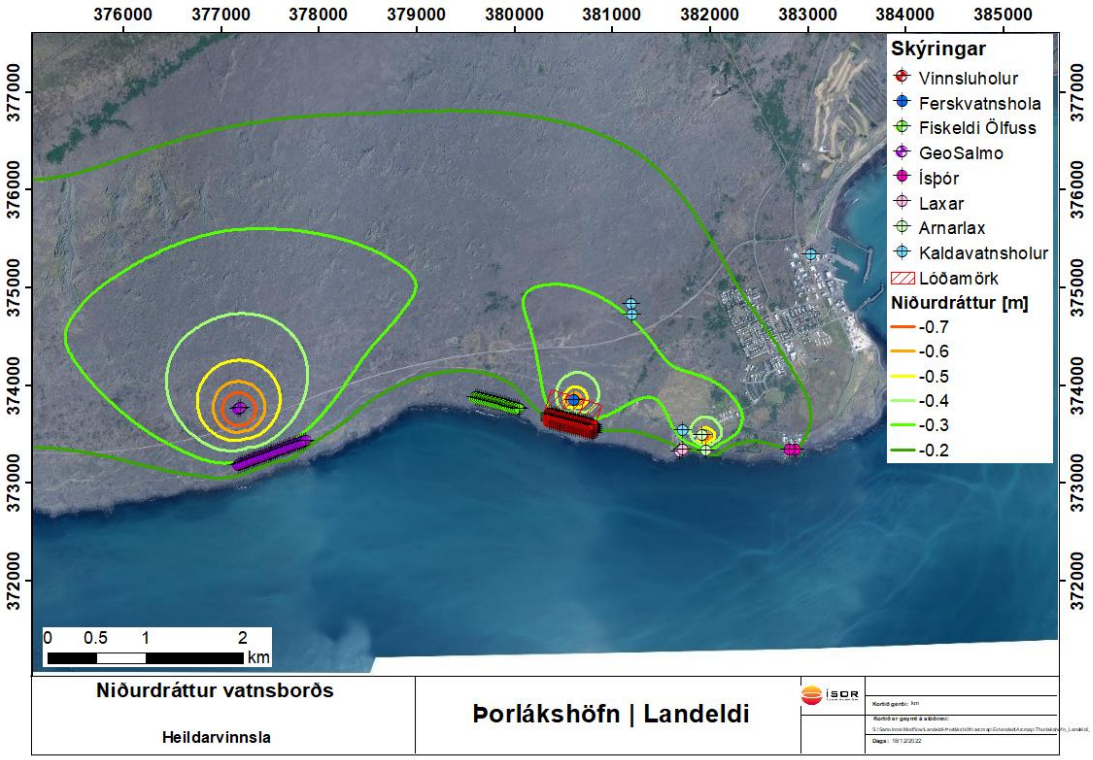
Mynd 36. *Reiknuð breyting á vinnsluseltu í nokkrum holum nálægt Þorlákshöfn vegna 20.500 L/s vinnslu á svæði Landeldis í 50 ár.*

Við hermun á vinnslu í 3. áfanga var tekið tillit til áforma annara vatnsnotenda á svæðinu og hvernig vinnsla Landeldis hafi áhrif á önnur vinnslusvæði nálægt Þorlákshöfn. Einnig voru athuguð samlegðaráhrif vegna vinnslu allra aðila á svæðinu, en ásamt 20.500 L/s Landeldi var athuguð núverandi og fyrirhuguð vinnsla Fiskeldi Ölfuss, Geo Salmo, Ísþórs, Laxa og Arnarlax (sjá Tafla 2). Niðurdráttur vatnsborðs vegna heildarvinnslu á svæðinu, miðað við náttúrulegt ástand svæðisins má sjá á mynd 37. Myndin sýnir að niðurdráttur vatnsborðs vegna heildarvinnslu allra aðila á líkanasvæðinu nær mest um 3 km norður af svæðinu, miðað við 20 cm niðurdrátt. Greinileg samlegðaráhrif á niðurdrátt verða vegna heildarmagns fyrirhugaðrar landeldisvinnslu á svæðinu, en stærð niðurdráttar langt frá vinnslusvæðum er óveruleg miðað við breytingu vegna sjávarfalla.

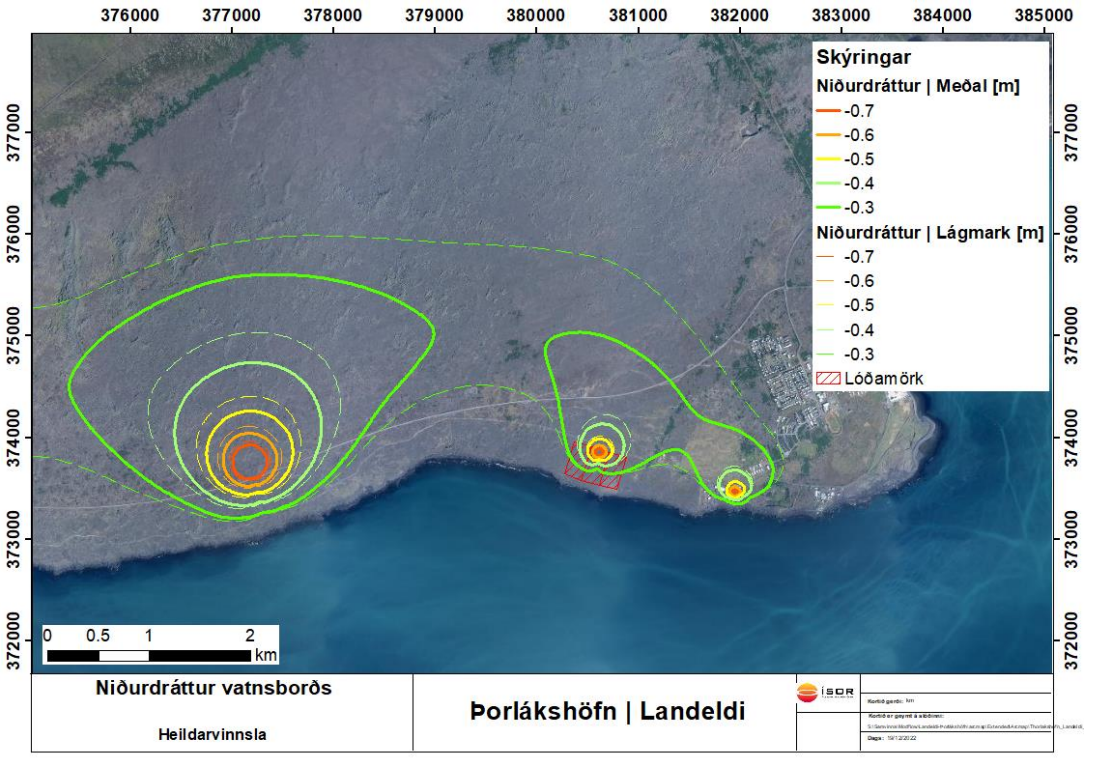
Einnig voru hermd áhrif slæmrar vatnsstöðu á svæðinu, þar sem grunnvatnsyfirborð var lækkað um 50 cm við útjaðar líkansins miðað við meðal grunnvatnsstöðu á svæðinu (mynd 38). Þar sést að á lélegu vatnsári eykst niðurdráttur allt að 3 km fyrir norðan vinnslusvæði Landeldis um 10 cm, þ.e.a.s. er kominn í 30 cm. Ekki er talið að breytingar á vatnsborði sem eru innan við 30 cm séu marktækar í líkaninu.

Þá voru athuguð áhrif allrar vinnslu á seltudreifingu á svæðinu, miðað við náttúrulegt ástand (mynd 39). Þar sést að heildarvinnsla á svæðinu veldur seltuaukningu við yfirborð við strandlengjuna frá Þorlákshöfn og vestur fyrir vinnslusvæði GeoSalmo. Líkanið sýnir ekki seltuaukningu nærri ferskvatnstökuholum Þorlákshafnar. Við vinnslusvæði GeoSalmo, sem og nálægt vinnslusvæðum Landeldis og fiskeldi Ölfuss, myndast ferskvatnskeilur inn til lands. Af myndinni sést að samanlögð áhrif af allri vinnslu á svæðinu hefur áhrif á dreifingu seltu á svæðinu, seltuaukning er þó að mestu leyti einskorðuð við strandlengjuna sjálfa , inn til lands þá myndast ferskvatnskeilur við vinnslusvæðin.

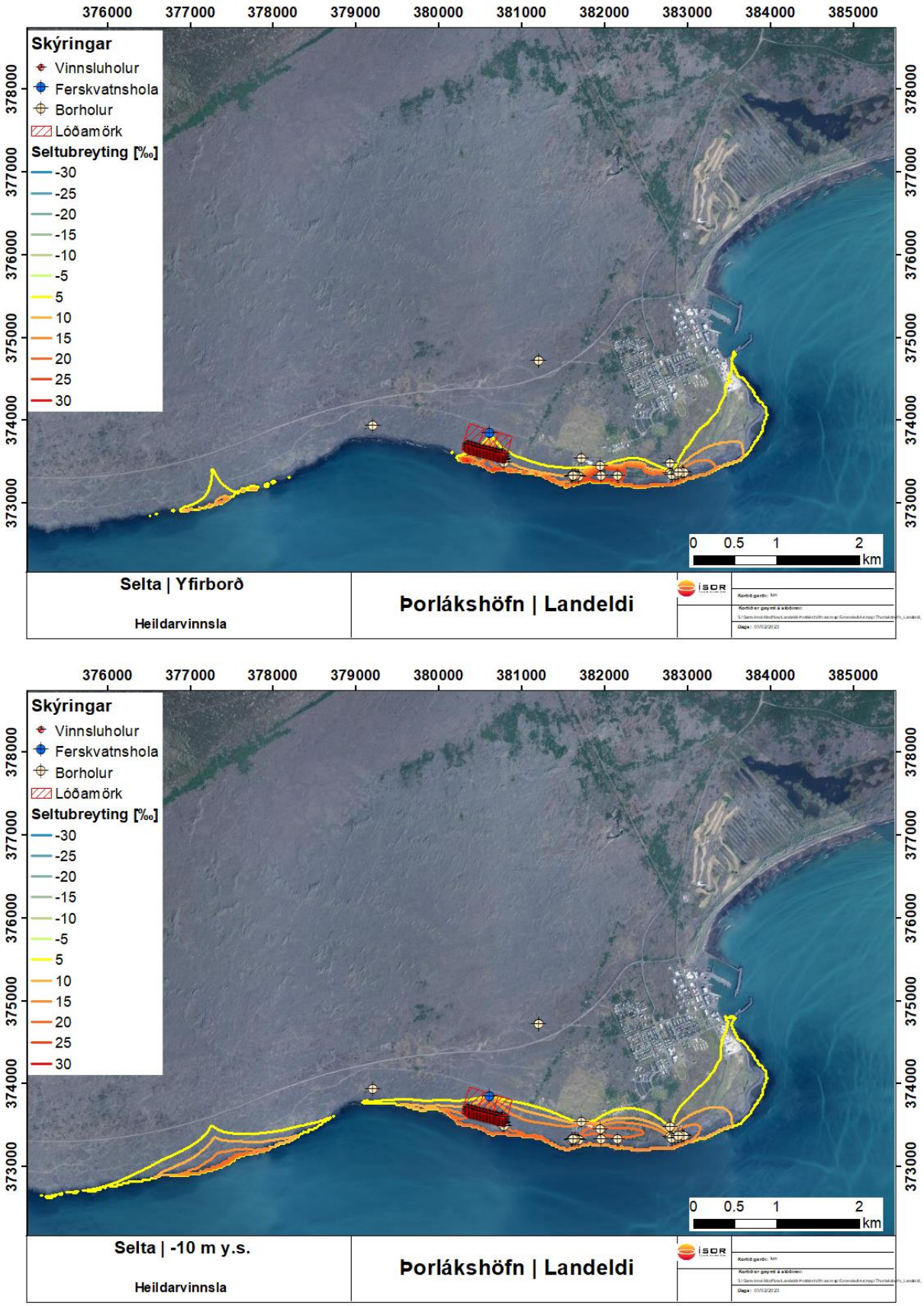
Seltuaukning sem sést norðaustur af Þorlákshöfn frá -40 m y.s. er ekki talin lýsa raunverulegum áhrifum.



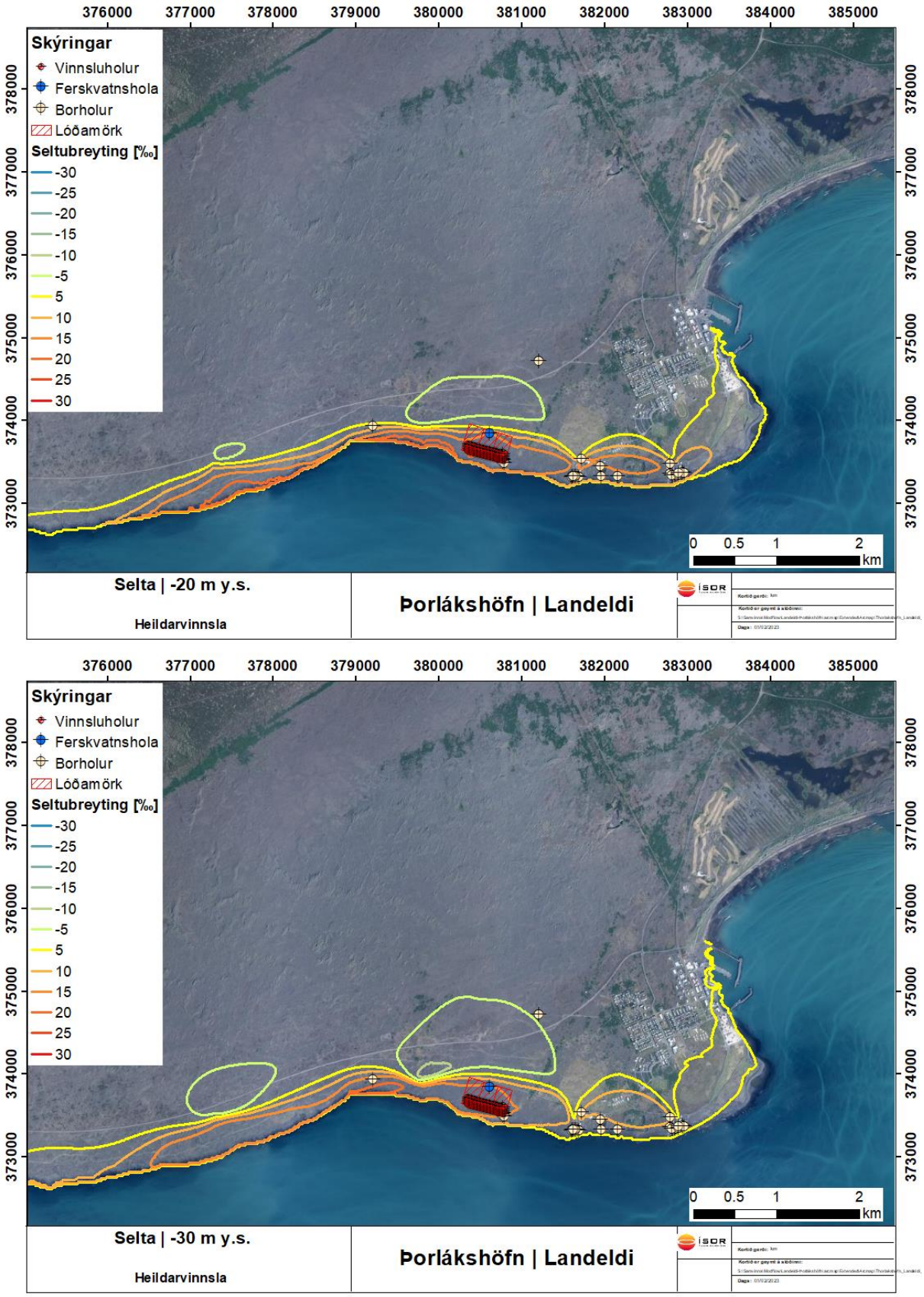
Mynd 37. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) vegna heildarvinnslu á svæðinu. Sýnd eru samlegðaráhrif m.v. fulla vinnslu (tafla 2).*



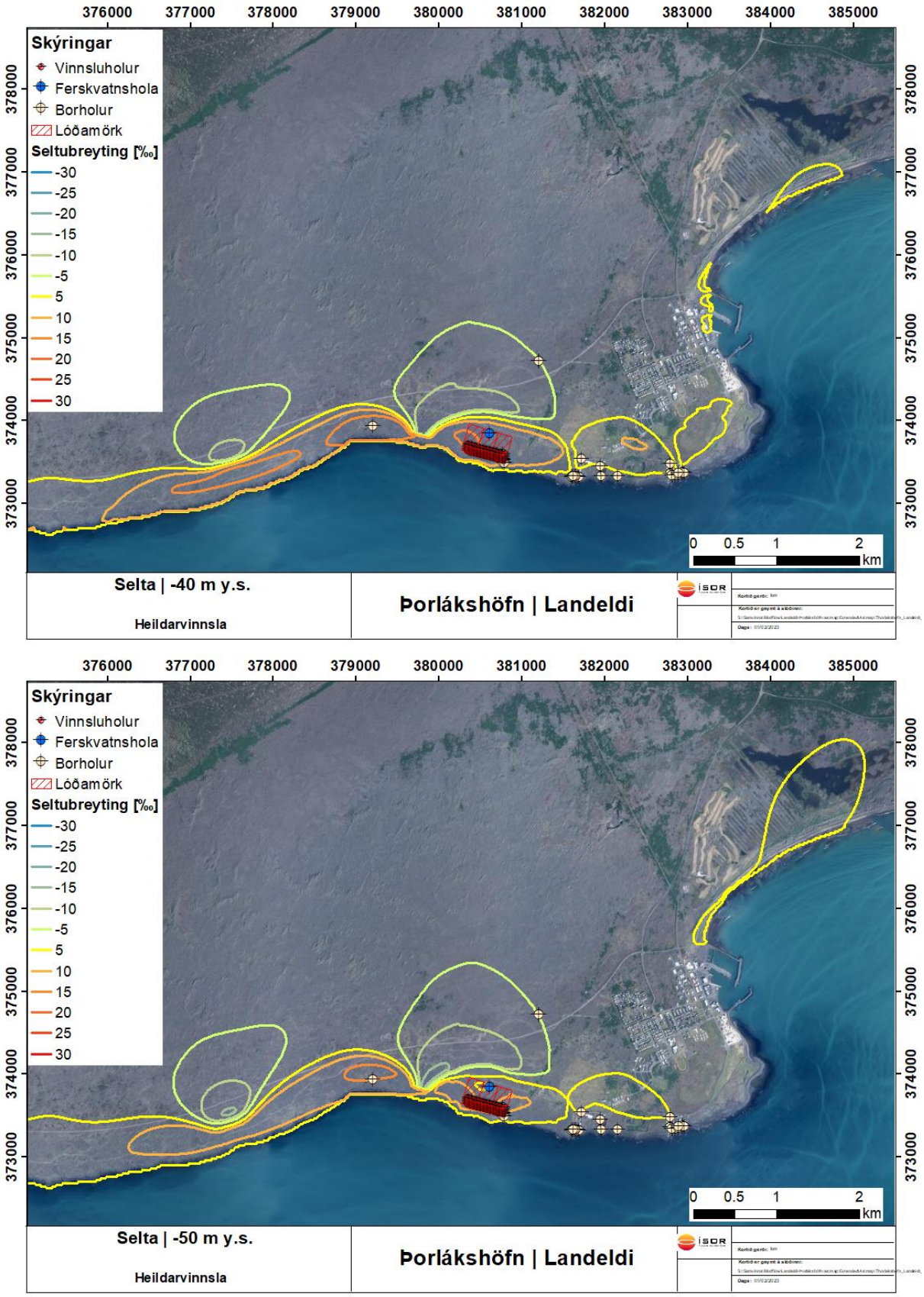
Mynd 38. *Reiknaður niðurdráttur vatnsborðs (m) vegna heildarvinnslu á svæðinu við mismunandi árferði. Heilar línur sýna niðurdrátt miðað við áætlað meðal vatnsár, en brotalínur sýna niðurdrátt miðað við lélegt vatnsár. Sýnd eru samlegðaráhrif m.v. fulla vinnslu (tafla 2).*



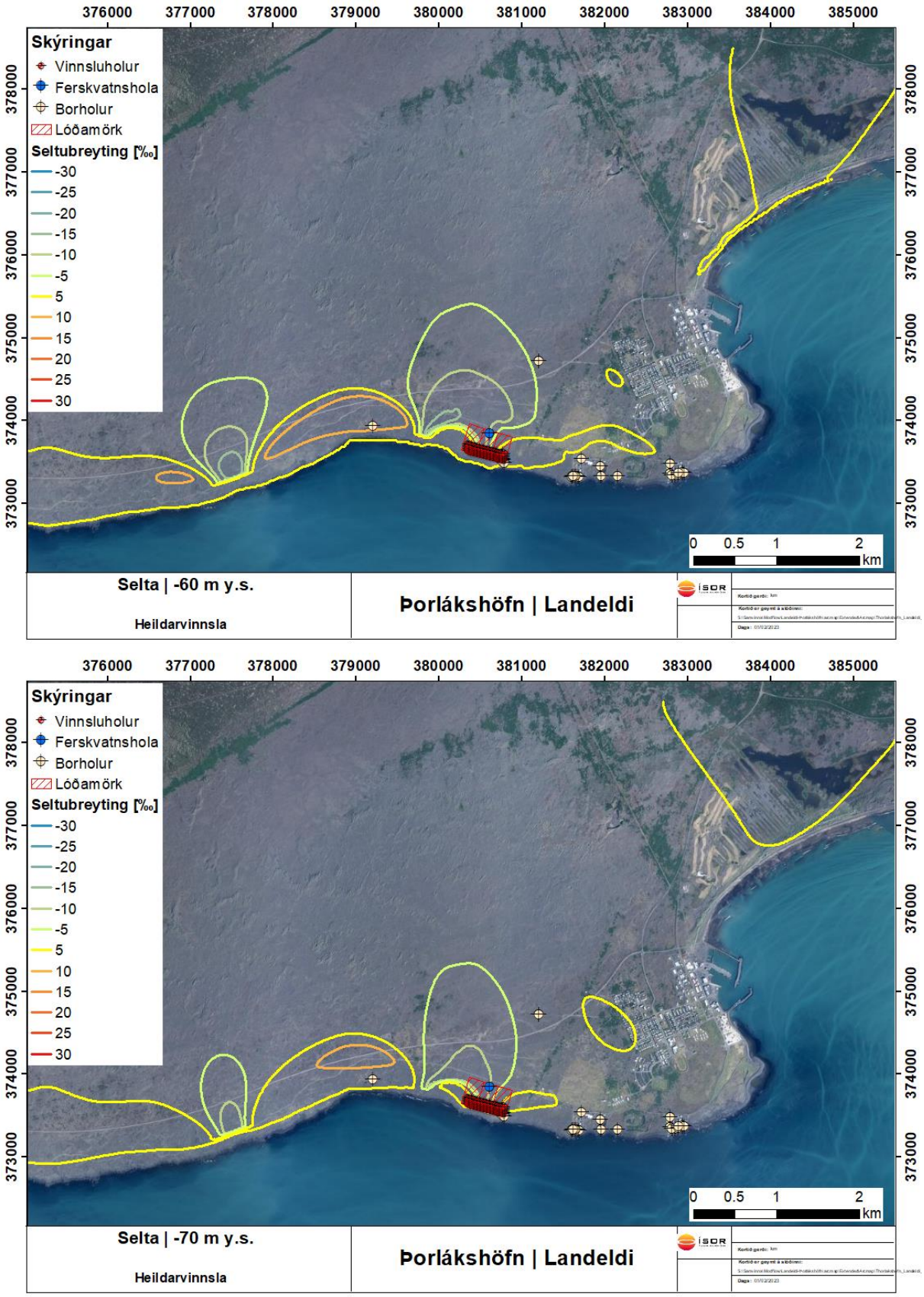
Mynd 39. *Breyting á seltu vegna heildarvinnslu á svæðinu m.v. náttúrulegt ástand (mynd 10) fyrir mismunandi dýpi. Sýnd eru samlegðaráhrif m.v. fulla vinnslu hjá Geo Salmo, Landeldi o.fl. (tafla 2).*



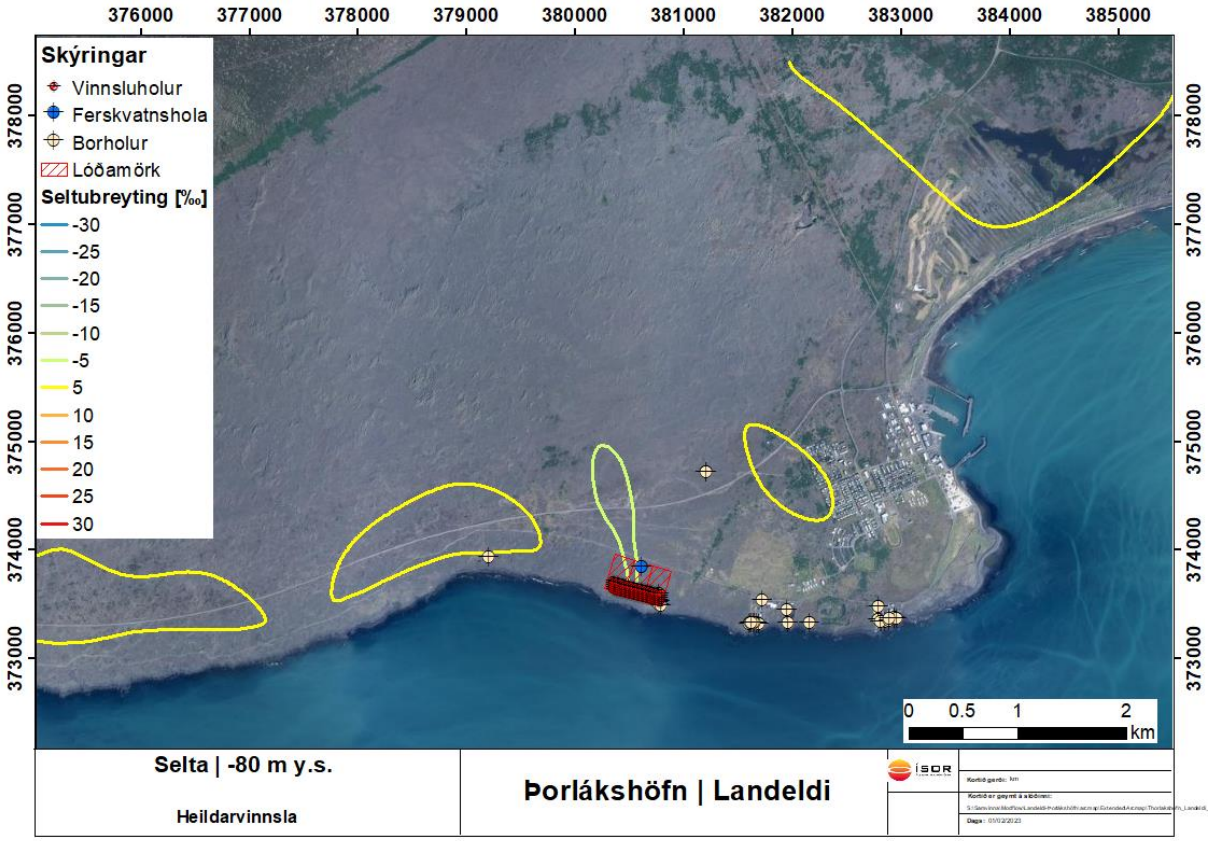
Mynd 39. *(Frh) Breyting á seltu vegna heildarvinnslu á svæðinu m.v. náttúrulegt ástand (mynd 10) fyrir mismunandi dýpi. Sýnd eru samlegðaráhrif m.v. fulla vinnslu hjá Geo Salmo, Landeldi o.fl. (tafla 2).*



Mynd 39. *(Frh) Breyting á seltu vegna heildarvinnslu á svæðinu m.v. náttúrulegt ástand (mynd 10) fyrir mismunandi dýpi. Sýnd eru samlegðaráhrif m.v. fulla vinnslu hjá Geo Salmo, Landeldi o.fl. (tafla 2).*



Mynd 39. *(Frh) Breyting á seltu vegna heildarvinnslu á svæðinu m.v. náttúrulegt ástand (mynd 10) fyrir mismunandi dýpi. Sýnd eru samlegðaráhrif m.v. fulla vinnslu hjá Geo Salmo, Landeldi o.fl. (tafla 2).*



Mynd 39. *(Frh) Breyting á seltu vegna heildarvinnslu á svæðinu m.v. náttúrulegt ástand (mynd 10) fyrir mismunandi dýpi. Sýnd eru samlegðaráhrif m.v. fulla vinnslu hjá Geo Salmo, Landeldi o.fl. (tafla 2).*

5 Niðurstöður

Grunnvatnslíkan sem byggir á ýmsum jarðfræði- og vatnafarslegum gögnum af svæðinu í kringum Þorlákshöfn var útbúið með reiknilíkaninu MODFLOW. Líkanið var látið herma náttúrulegt ástand, ástand miðað við núverandi vinnslu og áhrif þriggja mismunandi vinnsluáfanga á lóð Landeldis nærri Þorlákshöfn. Áfangarnir samsvara 5.500 L/s, 10.500 L/s og 20.500 L/s vinnslu af vinnslusvæði Landeldis. Helstu niðurstöður á keyrslu líkansins voru eftirfarandi:

- Reikningar sýna að við aukna vinnslu Landeldis tekur grunnvatnsborðið mestum breytingum í kringum vinnslusvæði Landeldis.
- Hermun sýnir að niðurdráttur vatnsborðs á svæði Landeldis miðað við 20.500 L/s vinnslu er um 1 m nyrst á vinnslusvæðinu en um 20 cm í 450 m radíus í kringum norðanvert vinnslusvæðið.. Vatnsborðsbreytingar vegna sjávarfalla eru um 2 m á þessu svæði svo niðurdráttur vegna aukinnar vinnslu Landeldis er lítill. Svipuð vatnsborðslækkun sést á svæði Landeldis fyrir öll þrjú vinnslutilfellin sem gefur til kynna að vatnsborðslækkun á svæðinu ráðist aðallega af stærð ferskvatnstöku úr svæðinu.
- Líkanið sýnir að fyrir öll vinnslutilvik er engin marktæk breyting á grunnvatnsborði né seltu í kringum vinnslusvæði Ísþórs, Laxa og Náttúru við aukna vinnslu Landeldis, sem og við fyrirhugað vinnslusvæði GeoSalmo.
- Hermun sýnir enga breytingu á grunnvatnsborði né seltu í neysluvatnsholum Þorlákshafnar við aukna vinnslu Landeldis.
- Líkanið sýnir að við vinnslu Landeldis þykknar ferskvatnslinsan til norðurs af vinnslusvæðinu.
- Hermun sýnir að ferskvatnslinsan næst sjónum á svæði Landeldis þynnist eða hverfur við aukna vinnslu.

Líkanið sýnir að aðrennsli grunnvatns að svæði Landeldis er tvískipt, annars vegar ferskvatn af Reykjanesskaga, sem streymir úr norðri út að sjó, og hins vegar sjór sem streymir inn undir land. Reikningar sýna að fyrirhuguð vinnsluaukning á svæði Landeldis mun hafa í för með sér allt að eins metra niðurdrátt vatnsborðs á svæðinu og er mestur niðurdráttur nálægt fyrirhugaðri ferskvatnstökuborholu. Hermanir sýna að fyrirhuguð vinnsla Landeldis muni ekki hafa marktæk áhrif á vinnslu annarra aðila á svæðinu og að áhrif aukinnar vinnslu munu aðallega vera í kringum nýtt vinnslusvæði. Reikningar sýna að selta grunnvatns á svæðinu mun breytast við aukna vinnslu Landeldis og eru helstu seltubreytingar fyrir norðan lóð Landeldis, og meðfram sjónum til suðurs og austurs. Líkanið sýnir að selta muni minnka með dýpi norður af vinnsusvæði Landeldis, þ.e.a.s. að ferskvatnslinsan á því svæði muni þykkna.

6 Heimildaskrá

Árni Hjartarson (2007). *Ölfus – Selvogur, Jarðfræðikort 1:25.000, jarðlagalýsing, myndun og mótun lands*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/063.

Björn Jóhann Björnsson (1977). *Þorlákshöfn: Dæluprof neysluvatnsholu.* Orkustofnun, OS-JKD-7717.

Freysteinn Sigurðsson (1985). *Jarðvatn og vatnajarðfræði á utanverðum Reykjanesskaga. Yfirlitsskýrsla.* Orkustofnun, OS-85075/VOD-06, 102 s + viðauki.

Freysteinn Sigurðsson og Jón Ingimarsson (1990). *Lekt íslenzkra jarðefna.* Orkustofnun, Vatnið og landið, 121–128.

Freysteinn Sigurðsson og Þórólfur H. Hafstað (1995). *Þorlákshöfn: Grunnvatn og vatnsvernd*. Orkustofnun, OS-95027/VOD-04 B.

Heimir Ingimarsson, Sigurður G. Kristinsson og Magnús Á. Sigurgeirsson (2021). *Borun sjóholna á lóð Landeldis við Þorlákshöfn: Tillögur að áframhaldandi borun og rannsóknum*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2021/015.

Hilmar Már Einarsson, Eric M. Myer og Sveinn Óli Pálmarsson (2019). *Eldisstöðin Ísþór í Þorlákshöfn. Mat á áhrifum aukinnar vatnstöku*. Vatnaskil, 19.12.

Kjartan Marteinsson, Gunnar Þorgilsson, Magnús Á. Sigurgeirsson og Daði Þorbjörnsson (2021*). Staður: Grunnvatnslíkan.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2021/037.

Kristján Sæmundsson og Björn A. Harðarson (1988). *Fjörfiskur: Rannsóknarborun í Keflavík vestan við Þorlákshöfn.* Orkustofnun, KS-BAH-88-04.

Landmælingar Íslands (2016). *LMÍ hæðarlíkan 2016*. Landmælingar Íslands.

Langevin, C.D., Hughes, J.D., Banta, E.R., Provost, A.M., Niswonger, R.G. og Panday, Sorab (2017). *MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model: U.S. Geological Survey Software*. U.S. Geological Survey.

Langevin, C.D., Hughes, J.D., Provost, A.M., Russcher, M.J., Niswonger, R.G., Panday, Sorab, Merrick, Damian og Banta, E.R. (2022). *MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.3.0: U.S. Geological Survey Software Release 4 March 2022*. U.S. Geological Survey.

Ólafur G. Flóvenz, Grímur Björnsson, Sæþór L Jónsson, Ómar Bjarki Smárason, Guðmundur Ó. Friðleifsson og Hrefna Kristmannsdóttir (1988). *Leit að volgum jarðsjó og heitu vatni við Þorlákshöfn, niðurstöður borana 1987. Sérverkefni í fiskeldi 1987*. Orkustofnun, OS-88020/JHD-11 B.

Steinunn Hauksdóttir, Gunnlaugur M. Einarsson, Daði Þorbjörnsson, Árni Hjartarson og Sigurður Ý. Richter (2021). *RESOURCE WP6 – Pan-EU Groundwater Resources Map: Metadata – Iceland* í *Deliverable 6.6: Justification of the choices to compile the Pan-EU Groundwater Resources maps by all participating countries.* European Union Horizon 2020, 731166.

Þórólfur H. Hafstað (2012). *Sjóholur í Þorlákshöfn.* Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað 29. júní 2012.

Þórólfur H. Hafstað, Daði Þorbjörnsson og Steinunn Hauksdóttir (2018). *Húsatóttir í Grindavík. Vinnsla á grunnvatni og jarðsjó.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2018/010, 28 s.