

Integroitu pinta- ja pohjaveden mallinnus Viscaria

Liite B3



Rautasjoki, lokakuu 2020. Kuva: E. Lindborg.

Hankepäällikkö	Emma Lindborg
Laatuvastaava	Lars-Göran Gustafsson
Käsittelijät	Kean Foster, Markus Petzén, Linda Randsalu, Mona Sassner, Jessie Schroeck, Stina Bång, Elin Jutebring Sterte, Lillemor Claesson Liljedahl

Tämä raportti on tuotettu DHI:n johtamisjärjestelmässä
Bureau Veritasin sertifioidien ISO 9001 (laadunhallinta) -vaatimusten mukaisesti

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Integroitu pinta- ja pohjaveden mallinnus Viscaria

Liite B3

Tuotettu vastaanottajalle

Copperstone Viscaria AB

Yhteyshenkilö

Anders Lundkvist

Hankepäällikkö	Emma Lindborg
Laatuvastaava	Lars-Göran Gustafsson
Käsittelijät	Kean Foster, Markus Petzén, Linda Randsalu, Mona Sassner, Jessie Schroeck, Stina Bång, Elin Jutebring Sterte, Lillemor Claesson Liljedahl

Toimeksiantonumero	12804788
Hyväksyntäpäivämäärä	30. syyskuuta 2022
Versio	Versio 2.0
Luokittelu	Rajoitettu

Yhteenveto

Copperstone Viscaria AB aikoo hakea ympäristölupaa Viscarian kaivoksen avaamiseksi uudelleen. Kaivoksen toiminta-alue sijaitsee noin 4 km Kiirunan keskustasta länteen. Tässä raportissa kuvataan Viscarian alueen pinta- ja pohjavesijärjestelmien nykytilanne ja se, miten tulevan kaivostoiminnan voidaan olettaa vaikuttavan niihin. Raportissa esitetään kaivostoiminnan aiheuttamat hydrologiset ja hydrogeologiset vaikutukset, mutta ei näiden vaikutusten seurauksia. Raportti puolestaan muodostaa perustan asiaan liittyville ympäristövaikutusten selvityksille, jotka koskevat haetun toiminnan vaikutuksia veden laatuun vaikutuksen alaisissa purkuvesistöissä (Liite B5), geoteknisiä ympäristövaikutuksia (Liite B6), vaikutuksia luontoon ja Natura2000-alueisiin sekä laillisen suojan piiriin kuuluviin lajeihin (Liite B8), jälkihoitosuunnitelmaa (Liite E2) sekä toiminnan ehdotettua valvontaohjelmaa (Liite A5) ja tulevan kaivostoiminnan omavalvontaa.

Suunniteltu kaivostoiminta kattaa malmin ja hylkykiven louhinnan avolouhoksessa ja maanalaisessa kaivoksessa sekä niihin liittyvät rikastus- ja jätteensijoitusprosessit. Kaivostoiminnan yhteydessä suunnitteilla on useita vesiin liittyviä toimintoja, jotka voivat vaikuttaa pinta- ja pohjavesijärjestelmään ja joihin sisältyy muun muassa pohjaveden johtaminen pois avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen tyhjentämiseksi, veden valuttaminen ojien kautta, pintaveden patoaminen patojen ja vallien avulla sekä pienen lammen tyhjennys ja kaivoksen vieressä olevan pienen puron uudelleenohjaus. Kaivostoiminnan myötä pinta- ja pohjavesien sisältämien metallien ja muiden aineiden päästöt voivat vaikuttaa lähialueen vesistöihin. Jotta pystyttäisiin kuvaamaan ja arvioimaan, miten tuleva kaivostoiminta vaikuttaa integroituun pinta- ja pohjavesijärjestelmään, on laadittu nykytilaan perustuvia malleja hydrologian, hydrogeologian ja veden laadun osalta. Tulevia skenaarioita kaivoksen eri vaiheissa perustamisesta jälkihoitovaiheeseen asti on sen jälkeen simuloitu toiminnan hydrologisten ja hydrogeologisten vaikutusten määrittämiseksi virtaaman, dynamiikan ja veden laadun suhteen. Tyypillistä kuivaa, normaalia ja sateista vuotta edustavia hydrologisia tyypivuotia on käytetty ottamaan huomioon tämänhetkisen ilmaston vaihtelut sekä niiden vaikutus mallituloksiin ja tuleviin skenaarioihin. Kuivat ja kosteat kaudet vaikuttavat valumaan ja pohjaveden muodostumiseen sekä myös pohjaveden pinnan alenemiseen ja vuotamiseen kaivosjärjestelmään.

Hydrologisia ja hydrodynaamisia malleja on kehitetty selvittämään olosuhteita ja vaikutuksia virtausolosuhteisiin ja veden laatuun järvissä ja vesistöissä kaivoksen eri vaiheissa ja vallitsevan ilmaston erilaisissa sääolosuhteissa (kuivat, normaalit ja kosteat). Luotua hydrodynaamista mallia on käytetty pinta- ja pohjavesijärjestelmien integrointiin. Integroidun mallin tavoitteena on kvantifioida tulevan louhinnan aiheuttama hydrologinen vaikutus seuraavien arvojen kannalta: i) laskettu pohjaveden alenemisen vaikutusalue maaperässä ja kalliossa, ii) kvantifioitu vaikutus pintaveden tasoon, iii) arvioidut pitkän aikavälin vaikutukset alueen pinta- ja pohjaveden sekä iv) laskettu pohjaveden olosuhteiden palautumisaika kaivoksen sulkemisen yhteydessä.

Nykytila

Aikaisemmat Viscarian toiminnot ja LKAB:n käynnissä oleva kaivostoiminta alueella vaikuttavat merkittävästi pintavesijärjestelmään. Vallitseva pintavesimalli kuvaa yleisesti hyvin virran nykyistä hydrodynamiikkaa, mutta Luossajärven pinnankorkeuden sääntelyä on ollut vaikea saada kaikilta osin hallintaan, koska sääntely tapahtuu suurelta osin käsin. Jo nyt on olemassa riski, että Luossajärven vedenpinta saattaa tyypillisinä kuivina vuosina laskea juuri alle sallitun alarajan. Pintavesijärjestelmän nykyinen vedenlaatu toistuu hyvin myös ajoituksen ja pitoisuuksien osalta, ja erityisesti, kun otetaan huomioon suoalueiden erilaiset biogeokemialliset prosessit, kuten kiinnittyminen. Osalle Rautasjokea tehdyn leviämismallin avulla voidaan vetää johtopäätös, että täysi sekoittuminen suhteessa Pahtajoen luusuaan tapahtuu 1 900 metrin päässä jokea alavirtaan, eli tulevan vedenlaadun mittauspiste tulisi sijoittaa alavirtaan tästä alueesta.

Keskeinen osa Viscarian alueen nykyisten olosuhteiden ymmärtämisessä perustuu mallialueelle luotuihin veden balansseihin hydrologisten tyyppivuosien osalta. Eri tyyppivuosien ja osa-alueiden yksityiskohtaisia vesibalansseja tutkimalla on analysoitu ja kvantifioitu erilaisiahydrologisia ja hydrogeologisia prosesseja, kuten pohjaveden muodostumista maaperään ja kalliioon sekä valumista vesistöön nykyolosuhteissa.

Alueelliseen pohjaveden virtaamaan kallioperässä vaikuttaa todennäköisesti Kiirunavaaran kaivostoiminnan seurauksena tapahtuva kallioperän pohjaveden pinnan aleneminen. Sitä vastoin ei läheisen kaivoksen arvioida vaikuttavan vapaan pohjaveden pinnankorkeuteen Viscarian alueella. Kalibroidun mallin katsotaan antavan hyvän kuvan alueen nykyisestä integroidusta pinta- ja pohjavesidynamiikasta. Käytettävissä olevan paikkatiedon ja kattavien herkkyysanalyysien avulla on saatu hyvä paikkaa koskeva käsitys, jota on sittemmin käytetty tulevan kaivostoiminnan aiheuttamien ympäristövaikutusten arvioinnissa.

Kalibroidun mallin todentamiseksi tehtiin testi, jossa nykyinen vedellä täytetty kaivos tyhjennetään. Mallissa lisätyt vesimäärät sopivat hyvin yhteen kaivoksen aikaisemmasta toiminnasta johtuneiden kohonneiden vesimäärien tietojen kanssa. Kalibroituja mallia verrattiin myös äskettäin lisättyihin pohjaveden pinnankorkeutta koskeviin tietoihin, joita ei käytetty kalibroinnin aikana, ja laskettujen ja havaittujen tasojen välillä vallitsi hyvä yhteensopivuus.

Tulevaisuus: Perustamisvaiheesta jälkihoitoon sekä hydrologisen ja hydrogeologisen järjestelmän uudelleenkyllästymiseen

Nykytilanteessa Luossajärven pinta uhkaa laskea kuivina vuosina, ja tämä riski kasvaa käyttövaiheessa, jolloin lasketut tasot osoittavat, että taso on turvarajan alapuolella talven aikana siihen asti, että kevättulvat nostavat järven pintaa. Tämä tarkoittaa sitä, että veden syöttöä ja johtamista järveen tulee säännellä aktiivisesti, jotta vältytään vesipulalta ja varmistetaan, että vedenpinnan taso pysyy alarajan yläpuolella.

Tuleva vedenlaatu on laskettu kahdelle valutusvaihtoehdolle, joista toisessa ylivuotoa tapahtuu purkukanavassa Luossajärven ylivuotoaukosta alavirtaan ja toisessa vesi jakautuu purkukanavan ja järven välillä. Alle 600 m³/h virtaama käsitellään vedenkäsittelytoimenpiteillä, kun taas ylijäämävesi lasketaan purkuvesistöön ilman toimenpiteitä. Tässä raportissa kuvataan kuitenkin vain tuloksia, jotka on saatu päästettäessä kaikki vesi kanavaan. Muut skenaariot ja niiden vaikutukset suhteessa siihen, että kaikki vesi päästetään kanavaan, kuvataan purkuvesistöselvityksessä (Liite B5)

Verrattaessa nykyisiä ja tulevia pitoisuuksia kaivoksen eri vaiheissa KVA179:ssä, joka on mittauspiste juuri ennen Pahtajoen luusuaa Rautasjoessa, saadaan seuraavat tulokset verrattuna nykyisiin pitoisuuksiin. Aineiden Ca, Co, Cu, NO₃, SO₄ pitoisuuksien lasketaan nousevan vaiheen 1 ja vaiheen 3 välillä, ja aineiden Cl, DOC, U ja Zn pitoisuuksien odotetaan sitä vastoin laskevan. Ero tietyissä aineissa, kuten Cl, DOC ja U, on suhteellisen pieni kaivoksen tulevissa vaiheissa verrattuna nykytilanteeseen.

Jotta voitaisiin analysoida tulevaisuuden kaivostoiminnan vaikutuksia integroituun pinta- ja pohjavesijärjestelmään, nykytilan mallia on muutettu ottamaan huomioon tulevaisuuden maanalainen kaivos/maanalaiset kaivokset sekä tulevat maaperän muutokset koskien avolouhintaa, hylkykivivarastoja ja hiekkaa. ja rikastushiekka- ja selkeytsaltaita. Sisäänvirtausta kaivokseen ja sen vaikutuksia on analysoitu kaivoksen eri vaiheissa perustamisvaiheesta ja veden täyttämisen kaivoksen tyhjennyksestä aina jälkihoitovaiheeseen asti.

Pohjavesivaikutusten yksityiskohtaiset tulokset kuvataan käyttäen oletuksena täysin louhittua kaivosta, jossa kaikki malmi on louhittu kaikilla vyöhykkeillä (A-, B- ja D-vyöhykkeet) 800 m maanpinnan alapuolelle asti. Pohjaveden pinnan tason tuleva lasku ja vaikutusalue mallivuosille mallivuosien osalta on laskettu. Vaikutusalueeksi määritetään alue, jossa vapaa pohjaveden pinta laskee enemmän kuin 0,3 m. Pohjavesivaikutuksen ja seurausten arvioimiseksi tietyissä luonnonympäristöissä on myös analysoitu 0,1 m vastaava pinnan laskeminen.

Kaikissa vaiheissa tyhjennyksestä täysin louhittuun kaivokseen pohjaveden pinnan tasoon suurin vaikutus on avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen läheisyydessä sijaitsevilla alueilla, joissa kaivoksen ympärillä voi paikallisesti tapahtua laajaa vajoamista. Alentumiskuvio ja vaikutusalueen koko eivät muutu mainittavasti siitä, että 30 % kaivoksesta on louhittu, siihen, että 100 % on louhittu. Myös alentumisen malli on samanlainen näissä vaiheissa. Vajoaminen leviää osittain koillis-lounaissuunnassa, osittain luoteis-kaakkoissuunnassa kaivoksen kanssa kosketuksissa olevia lineamentteja pitkin. Vajoamisen leviämisen ja lineamenttien laajuuden välillä on selvä yhteys: suurin osa vaikutusalueista, jotka eivät sijaitse suorassa kosketuksessa kaivokseen, ovat hydraulisessa kosketuksessa kaivoksen kanssa lineamenttien kautta. Mallissa on oletettu, että kaikki lineamentit muodostavat pohjavettä johtavia vyöhykkeitä. Tämä on konservatiivinen oletus, joten leviämisen laskennallisella vaikutusalueella voidaan olettaa olevan hieman yliarvioitu. Sisäänvirtausalueilla sijaitsevat vaikutusalueet ovat yhteneväisiä sellaisten alueiden kanssa, joilla pohjavesi sijaitsee häiriintymättömissä olosuhteissa eli nykytilanteessa suhteellisen syvällä.

Tulovirtaama kaivokselle ja avolouhokselle vaihtelee ympäri vuoden ja saavuttaa korkeimman tasonsa lumen sulamisen yhteydessä. Herkkyys sään vaihteluille (normaalit, kuivat ja sateiset vuodet) on kuitenkin suhteellisen pieni, mikä merkitsee, että kaivoksen muodolla ja laajuudella on suurempi vaikutus vuotoon kuin sään vaihteluilla.

Maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksen uudelleenkyllästymiseen kuluvan ajan laskemiseksi on analysoitu kaksi tapausta: tapaus, jossa avolouhokset pysyvät avoimina ja niihin muodostuu järviä ja tapaus, jossa avolouhokset on täytetty hylkykivellä. Kummassakin tapauksessa näiden laskelmien lähtökohtana on käytetty vaiheen 3 asettelua, mikä merkitsee sitä, että tietoa pintaveden johtamisesta alueella puuttuu. Valmiiden laskelmien tarkoituksena on siksi ollut analysoida, miten pohjavesien pinnat palautuvat ajan myötä ja mitkä virtaamat tapahtuvat louhituksessa kallioperässä ja avolouhoksissa. Arvioiden mukaan maanalaisten kaivosten ja avolouhosten uudelleenkyllästymiseen kuluu noin 40 vuotta, riippumatta siitä, täytetäänkö avolouhokset vai ei. Tulevaisuudessa alueen valumien odotetaan olevan jonkin verran suurempia avolouhinnassa.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	8
1.1	Tausta	8
1.2	Tarkoitus ja tavoitteet	9
1.3	Asiaan liittyvät mallinnustoimenpiteet ja selvitykset.....	10
1.3.1	Ulkoisen järjestelmän malli	10
1.3.2	Asiaan liittyvät selvitykset.....	11
1.4	Tämä raportti.....	12
1.4.1	Jäsennys	12
1.4.2	Terminologia	12
2	YLEINEN METODIIKKA JA MALLINNUSTRATEGIA.....	13
2.1	Pintavesimallinnus.....	14
2.1.1	Pintavesimalli – virtaamat ja vedenlaatu	15
2.1.2	Pintavesimalli – leviämislaskelma Rautasjoessa	15
2.2	Integroitu pinta- ja pohjavesimalli	16
2.3	Analysoidut skenaariot	17
3	MALLINNUSTYÖKALU	20
3.1	MIKE HYDRO River ja NAM	20
3.2	MIKE 21	21
3.3	MIKE SHE	21
3.4	MIKE URBAN.....	23
4	POHJATIEDOT	25
4.1	Paikallisesti vaihtelevat pohjatiedot	25
4.1.1	Topografia	25
4.1.2	Vesistöt ja järvet	25
4.1.3	Maankäyttö.....	27
4.1.4	Maaperän geologia	29
4.1.5	Kallioperän geologia.....	30
4.1.6	Kallion ja maaperän hydrauliset ominaisuudet.....	32
4.1.7	Nykyiset kaivokset ja avolouhokset	34
4.1.8	Tulevaisuuden kaivostoiminnan muuttuneet maaperän olosuhteet.....	35
4.2	Meteorologiset, hydrologiset ja hydrogeologiset aikasarjat	37

4.2.1	Meteorologiset pohjatiedot.....	37
4.2.2	Hydrologisten tyyppivuosien määrittely.....	38
4.2.3	Vesistöjen tasojen ja virtaamien aikasarjat.....	40
4.2.4	Pohjaveden pinnan tasojen aikasarja maaperässä ja kalliolla.....	42
5	HYDROLOGISEN JA HYDROGEOLOGISEN PAIKAN YMMÄRTÄMINEN JA KÄSITTEELLINEN MALLI.....	44
5.1	Alueen sääolosuhteet ja yleinen vesitase.....	44
5.2	Järvet ja vesistöt.....	45
5.3	Pohjavesi.....	47
6	NUMEERINEN MALLI.....	56
6.1	Pintavesimalli.....	56
6.1.1	Mallialue ja reunaehdot.....	56
6.1.2	Hydrologinen malli – NAM.....	57
6.1.3	Hydraulinen malli – MIKE HYDRO River.....	57
6.1.4	Leviämismalli – MIKE 21.....	58
6.2	Pohjavesimalli.....	59
6.2.1	Mallialue ja reunaehdot.....	59
6.2.2	Kyllästymätön vyöhyke.....	60
6.2.3	Kyllästynyt vyöhyke.....	62
6.2.4	Viscarian kaivos.....	63
6.2.5	Kiirunavaaran kaivos.....	66
7	KALIBROINNIN JA HERKKYYSANALYYSIN METODIIKKA.....	68
7.1	Pintavesimalli.....	68
7.1.1	Pintavesimalli.....	69
7.1.2	Vedenlaatu.....	69
7.1.3	Leviämismalli MIKE 21 Rautasjoelle.....	72
7.2	Integroitu pinta- ja pohjavesimalli.....	73
8	PINTAVESIMALLIN KALIBROINTI.....	75
8.1	Mallin asteittaiset muutokset työn aikana.....	76
8.2	Kalibroinnin tulokset hydrodynamiikan osalta.....	77
8.3	Kalibrointitulokset vedenlaadun osalta.....	82
8.4	Kalibrointitulokset, leviämismalli Rautasjoelle.....	88
9	PINTAVESIMALLIN TULOKSET.....	90
9.1	Tämänhetkiset olosuhteet ja eri tyyppivuosien vaikutus.....	90
9.1.1	Vedenpinnan tasot.....	90
9.1.2	Virtaamat.....	91

9.1.3	Vedenlaatu.....	94
9.2	Tuleva vaikutus vedenpinnan korkeuksiin, virtaamiin ja vedenlaatuun.....	96
9.2.1	Vaikutus vedenpinnan korkeuksiin kaivoksen eri vaiheissa.....	97
9.2.2	Vaikutus virtaamiin kaivoksen eri vaiheissa.....	98
9.2.3	Vaikutus vedenlaatuun kaivoksen eri vaiheissa.....	100
9.3	Eri tyyppivuosien vaikutus täysin louhitussa kaivoksessa.....	107
9.3.1	Vaikutus veden pinnankorkeuteen täysin louhitussa kaivoksessa.....	107
9.3.2	Vaikutus virtaamiin täysin louhitussa kaivoksessa.....	107
9.3.3	Tyyppivuosien vaikutus vedenlaatuun täysin louhitussa kaivoksessa.....	109
10	INTEGROIDUN PINTA- JA POHJAVESIMALLIN KALIBROINTI.....	114
10.1	Alustavat laskelmat alueellisella mallilla.....	114
10.1.1	Alueellisen mallin tulokset.....	115
10.2	Alueellisen mallin kalibrointi ja herkkyyshanalyysi.....	122
10.2.1	Mallin asteittaiset muutokset kalibroinnin aikana.....	122
10.2.2	Kalibroidun mallin lopullinen ominaisuusjoukko.....	128
10.2.3	Tulosten kalibrointi.....	130
11	INTEGROIDUN PINTA- JA POHJAVESIMALLINNUKSEN TULOKSET.....	143
11.1	Nykyhetken hydrologiset ja hydrogeologiset olosuhteet.....	143
11.1.1	Vesitase.....	143
11.1.2	Vesistöjen virtaamat ja vedenpintojen tasot.....	145
11.1.3	Pohjavesi.....	146
11.2	Tulevan kaivostoiminnan vaikutus.....	157
11.2.1	Pohjaveden pinnan tason vaikutus.....	1
11.2.2	Vaikutukset pohjaveden pintaan alueilla, joilla pohjavesi on lähellä maanpintaa.....	6
11.2.3	Pohjaveden vaikutus kallioperässä.....	7
11.2.4	Kaivostoiminnan vaikutus pintaveden virtaamiin ja pintaveden tasoihin.....	9
11.2.5	Kaivoksen sisään tapahtuva vuoto vaiheessa 3.....	11
11.3	Maanalaisten kaivosten ja avolouhosten uudelleenkyllästyminen, vaihe 5.....	16
11.3.1	Avolouhosten uudelleenkyllästyamiseen kuluva aika.....	17
11.3.2	Maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen sisään virtaavien vesien määrät.....	19
11.3.3	Valuma toiminta-alueelta.....	24
12	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	27
12.1	Pintavesimallinnuksen yhteenveto ja johtopäätökset.....	27
12.2	Integroidun pinta- ja pohjavesimallinnuksen yhteenveto ja johtopäätökset.....	28
13	VIITTEET.....	31

Johdanto

Tässä raportissa esitetään DHI Sverige AB:n alueen integroitujen hydrologisten ja hydrogeologisten analyysien tulokset Copperstone Viscaria AB:n suunnitteleman Viscarian kaivoksen uudelleen avaamisen yhteydessä. Raportti on tulos kollektiivisesta yhteistyöstä, jossa Kean Foster, Markus Petzén ja Elin Jutebring Sterte vastaavat hydrologisesta ja hydrodynaamisesta mallintamisesta, mukaan lukien leviämislaskelmat ja veden laatua koskevat laskelmat. Emma Lindborg, Linda Randsalu, Mona Sassner ja Stina Bång ovat vastanneet integroidusta pinta- ja pohjaveden mallintamisesta, joka kuvaa tämänhetkisiä olosuhteita ja sitä, miten tuleva kaivostoiminta vaikuttaa keskinäisessä vuorovaikutuksessa olevaan hydrologis-hydrogeologiseen järjestelmään. Jessie Schroeck on luonut kaivosten asettelua kuvaavan mallin. Rune Nordqvist KRN Consultingista on kirjoittanut osion kallio- ja maaperän hydraulisista ominaisuuksista luvussa 4. Lillemor Claesson Liljedahl on koordinoitunut mallinnuksen tietotarpeita paikan päällä tehtyjen tutkimusten kanssa ja koordinoitunut DHI:n työtä koskien ulkoista järjestelmämallia.

Raportin toimittajana on toiminut Lillemor Claesson Liljedahl ja hankepäällikkönä Emma Lindborg.

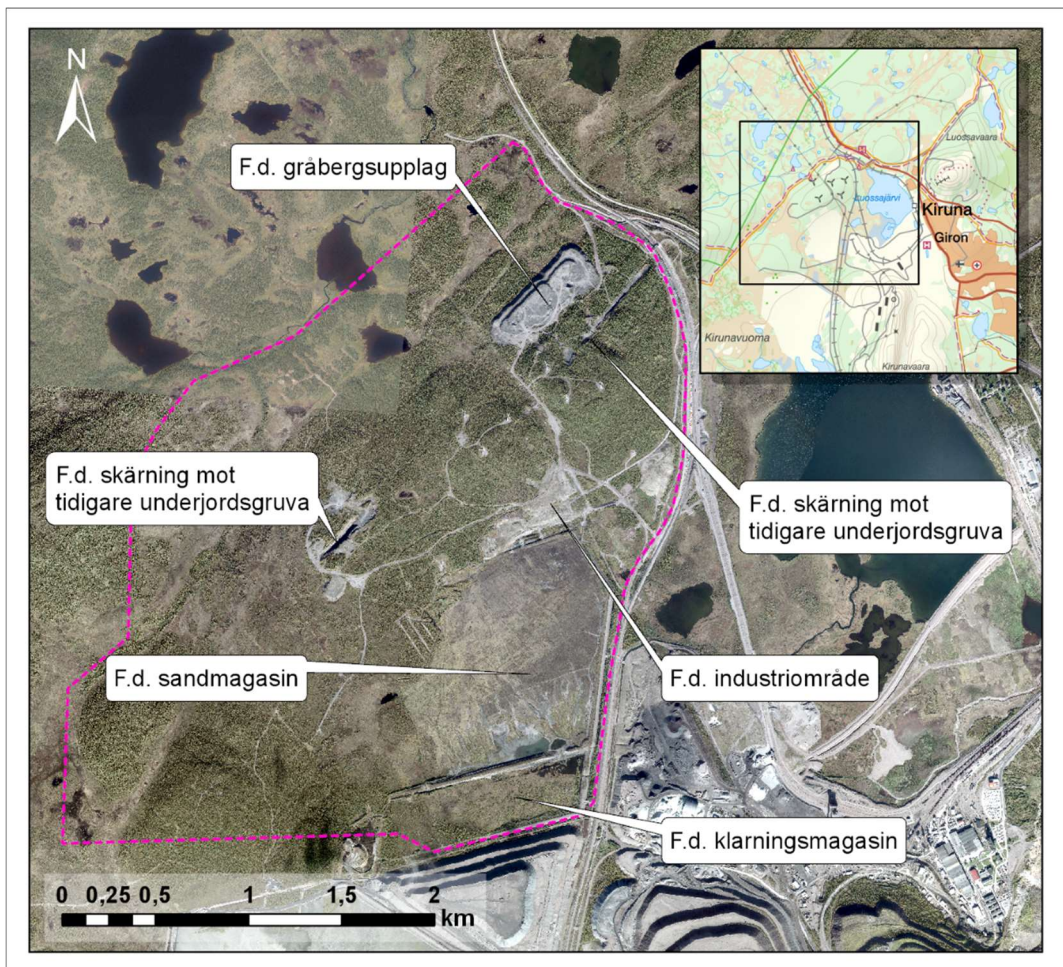
1 Johdanto

1.1 Tausta

Copperstone Viscaria AB (Copperstone) aikoo jatkaa kaivostoimintaa entisessä Viscarian kaivoksessa. Täällä kaivostoimintaa harjoitettiin aiemmin vuosina 1982-1997, jolloin tehtiin kuparimalmin louhintaa ja rikastamista. Suunniteltu kaivostoiminta edellyttää ympäristökaaren (SFS 1998:808) mukaista lupaa ja haetun kaivostoiminnan lupahakemukseen on liitettävä ympäristövaikutusten arviointimenettelyn selvitys (YVA). Figur 1-1 esittää suunnitellun toiminta-alueen laajuutta noin 4 km Kiirunasta länteen.

Kyseinen malmi sisältää pääosin kuparia, mutta myös rautaa, ja suunnitteilla olevaan kaivostoimintaan sisältyy malmin ja hylkykiven louhinta avolouhoksessa ja maanalaisessa kaivoksessa sekä niihin liittyvät rikastus- ja loppusijoitusprosessit. Kaivostoiminnan yhteydessä suunnitteilla on useita vesiin liittyviä toimintoja, joihin sisältyy muun muassa veden johtaminen pois ja pohjaveden pinnan laskeminen avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä, veden valuttaminen ojien kautta, pintaveden patoaminen patojen ja vallien avulla sekä pienen lammen tyhjennys ja kaivoksen läheisyydessä sijaitsevan pienen puron uudelleen ohjaus.

Edellä esitetyn johdosta Copperstonella on tarve lisätä tietämystään Viscarian alueen pinta- ja pohjavesijärjestelmistä. Tämä tutkimus on osa kyseistä tiedonhankintaa ja sen tuloksia käytetään taustatietona Viscarian yhdistetyn toiminnan suunniteltua ympäristölupahakemusta varten. Selvityksen tulosten on tarkoitus myös muodostaa pohja tulevan kaivostoiminnan omavalvonnalle.



Kuva 1-1. Viscarian alueen yleiskuvauskartta, jossa suunniteltu toiminta-alue on merkitty vaaleanpunaisella katkoviivalla.

1.2 Tarkoitus ja tavoitteet

DHI Sverige AB on Copperstonen toimeksiannosta toimeenpannut tämän tutkimuksen, jonka tarkoituksena on lisätä tietämystä Viscarian alueen pinta- ja pohjavesijärjestelmästä, jotta voidaan selvittää suunnitellun kaivostoiminnan mahdollisia vaikutuksia näihin järjestelmiin. Hydrologisia ja hydrodynaamisia malleja luodaan selvittämään olosuhteita ja vaikutuksia virtausolosuhteisiin ja veden laatuun järvissä ja vesistöissä erilaisissa nykyhetken ilmastonvaihteluissa ja erilaisissa päästöskenaarioissa. Luotua hydrodynaamista mallia käytetään numeerisen pinta- ja pohjavesimallin integrointiin. Integroitu malli käsittelee hydrologisia ja hydrogeologisia prosesseja valuma-alueen mittakaavassa, ts. ilmakehän prosessien, pintaveden virtaamien, pohjaveden virtauksen ja kyllästymättömän virtauksen välistä vuorovaikutusta maanpinnan lähellä olevalla vyöhykkeellä. Mallinnus koostuu osaksi käsitteellisestä osasta, jossa kuvataan integroitu hydrologinen ja hydrogeologinen järjestelmä, osaksi numeerisesta osasta, jonka tarkoituksena on sekä tunnistaa että kvantifioida vaikutukset, joita kaivostoiminnalla voi olla pinta- ja pohjavesijärjestelmään.

Integroidun mallinnuksen tavoitteena on laskelmien avulla kvantifioida suunnitellun louhinnan aiheuttama hydrologinen vaikutus ja mallinnuksen erityispainopisteenä on: i) laskea pohjaveden alenemisen vaikutusalue, ii) kvantifioida pohjaveden alenemisen vaikutusalue. vaikutus pintaveden tasoon, iii) arvioida pitkän aikavälin vaikutukset pinta- ja pohjaveden alueella ja iv) laskea pohjaveden olosuhteiden palautumisaika kaivoksen sulkemisen yhteydessä.

1.3 Asiaan liittyvät mallinnustoimenpiteet ja selvitykset

Mallinnuksessa käytetyt tukea antavat mallit koostuvat alueen maakerros- ja maansyvyysmallista (Petronne 2021) sekä lineamenttimallista (Mattsson 2020). Maanmittauslaitoksen korkeusmallia on käytetty alueen topografisten olosuhteiden kuvaamiseen. Purkuvesistömallinnuksen tukimallina on käytetty ulkoisen järjestelmän mallia (luvut 8 ja 9) ja se kuvataan yleisluonteisesti kohdassa 1.3.1.

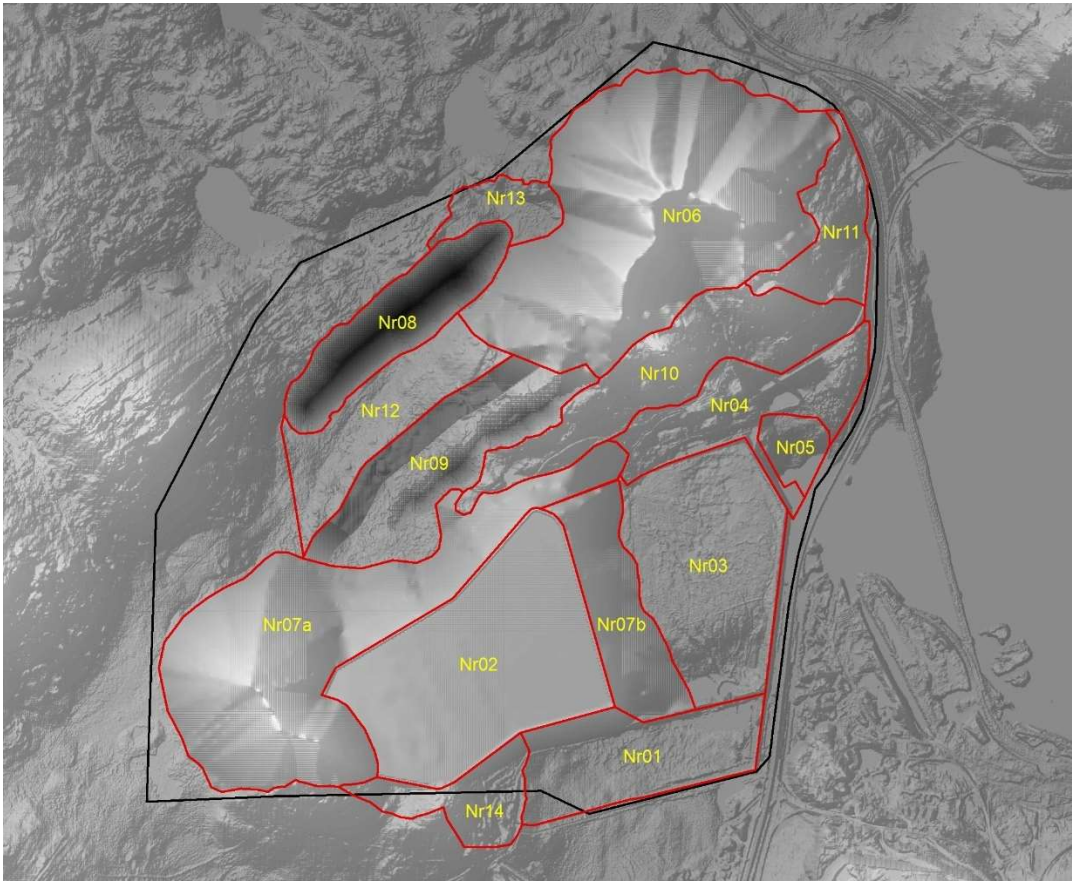
1.3.1 Ulkoisen järjestelmän malli

Ulkoisen järjestelmän malli on laadittu laskemaan toiminnan vesitase ja muun muassa tuottamaan ylivirtaus purkuvesistöön valituille tyyppivuosille (4.2.2). Ulkoinen järjestelmämalli täydentää tässä raportissa kuvattua integroitua pinta-pohjavesimallia, joka kuvataan yksityiskohtaisesti tässä raportissa, kun taas vesihuoltosuunnitelma (Liite A2) antaa yksityiskohtaisen kuvauksen ulkoisesta järjestelmämallista.

Copperstone käyttää ulomman järjestelmämallin tuloksia sisäisten ja ulkoisten vesijärjestelmien vedenkäsittelyn konseptin luomiseksi sekä vedenpuhdistusstrategioiden laatimiseksi ja toiminnan vedentarpeen turvaamiseksi. Malliin sisältyy ulomman järjestelmän suuret vedenkäsittelyosat ja lähteet ja siinä huomioidaan sisäisen vesijärjestelmän tärkeät prosessit. Malli sisältää seuraavat kohteet:

- valutus ulkoisen järjestelmän pinnoilta
- lisääntynyt kaivosvesi, ts. arvioitu tulovirtaama maanalaiseen kaivokseen sekä avolouhoksesta valutettu vesimäärä
- hävikit prosessilaitoksissa
- veden sitoutuminen rikastushiekka-altaaseen
- lieteveden jäätyminen rikastushiekka-altaassa
- jäänmuodostus selkeytsaltaassa
- haihtuminen selkeytsaltaasta
- määrä selkeytsaltaassa
- ylivirtaus selkeytsaltaasta purkuvesistöön.

Toiminta-alueen valuma on mallinnettu osavaluma-alueittakaavassa NAM-työkalulla (ks. 2.1.1 ja 3.1). Figur 1-2 näyttää ne osavaluma-alueet, joihin täysin louhitun kaivoksen toiminta-alue (vaiheen 3 mukaisesti; määritelmä, ks. 2.3) voidaan jakaa ja jotka muodostavat perustan ulkoisen järjestelmän valuman ja vesitaseen laskemiselle.



Kuva 1-2. Toiminta-alueen osavaluma-alueet (Nr01-Nr14) vaiheen 3 mukaisesti koskien täysin louhittua kaivosta. Osavaluma-alueet on luotu vaiheen 3 korkeusmallin perusteella ja perustuvat asettelumallin versioon 1.31 (ks. Liite B, kohta 2.1). Toiminta-alue ilmaistaan yhtenäisellä mustalla viivalla.

Sisään tulevat vesimäärät ulkoisessa järjestelmämallissa muodostuvat lisääntyneestä kaivosvedestä, valumasta selkeytsaltaaseen ja valumasta rikastushiekka-altaaseen, kun taas sitoutuminen rikastushiekka-altaaseen, hävikit sisäisessä vesijärjestelmässä/sisäiseen vesijärjestelmään ja haihtuminen selkeytsaltaasta aiheuttavat veden hävikkiä. Laskettu ylivirtaus muodostuu näin jäljellä olevasta vedestä, joka puolestaanpäätyy purkuvesistöön. Mallin nykyisessä versiossa selkeytsaltaan tilavuuden on oletettu olevan 0,6 miljoonaa m³. Lisääntyneen kaivosveden määrä perustuu täysin louhittuun kaivokseen ja tämä virtaama sisältyy pintavesimalliin purkuvesistömallinnusta varten (ks. luvut 8 ja 9).

Suunnitellun toiminnan vedenkäsittelyn kokonaiskuvaus ja yksityiskohtainen vesitase sitä varten on kuvattu vedenkäsittelysuunnitelmassa (Liite A2).

1.3.2 Asiaan liittyvät selvitykset

Tässä raportissa esitettävät tulokset suunnitellun kaivostoiminnan vaikutuksesta pohja- ja pintavesijärjestelmiin muodostavat suoran tai välillisen alustan asiaan liittyville ympäristövaikutusten selvityksille. Näihin selvityksiin sisältyvät:

- haetun toiminnan vaikutus asianomaisten purkuvesistöjen veden laatuun ja biologiaan (Liite B5)
- geotekninen ympäristövaikutus, joka on seurausta pohjaveden pinnan alenemisesta (Liite B6)

- vaikutukset luonnonympäristöön ja erityisvaikutukset Natura 2000 -alueisiin sekä tavattavat lainsuojelun piiriin kuuluvat lajit (Liite B8)
- käsitteellinen jälkihoitosuunnitelma liitteessä (Liite E2)
- toiminnalle ehdotettu valvontaohjelma (Liite A5).

1.4 Tämä raportti

1.4.1 Jäsennys

Raportti rakentuu siten, että luvussa 1 selvitetään työn tausta ja tarkoitus. Luvussa 2 kuvaillaan yleinen metodiikka ja mallinnusstrategia. Luvussa 3 kuvaillaan tutkimuksessa käytetyt erilaiset mallinnustyökalut ja luvussa 4 kuvaillaan mallin rakentamiseen ja testaamiseen käytetyt pohjatiedot sekä esitetään yleiskatsaus suoritetuista kenttätutkimuksista. Luvussa 5 kuvaillaan käsitteellinen paikkamalli ja sen rakenne, ja luvussa 6 selvitetään, millä tavoin tätä mallia kuvaillaan numeerisessa hydrologisessa mallissa. Kalibroinnin, herkkyyksianalyysin ja validoinnin metodiikka esitetään luvussa 7. Pintavesimallin kalibrointi, tulokset ja skenaariosimulaatiot kuvataan luvuissa 8 ja 9 ja integroidulle pinta- ja pohjavesimallille luvuissa 10 ja 11. Yhteenveto ja johtopäätökset esitetään luvussa 12.

Kaikki maantieteellinen informaatio esitetään kokonaisuudessaan korkeusjärjestelmässä RH2000 ja suunnitelmatiedoissa käytetään koordinaattijärjestelmää SWEREF99 20 15.

1.4.2 Terminologia

Ruotsissa hydrogeologisissa teksteissä käytetään usein englanninkielistä termiä "Hydraulic head". Vastaava suomenkielinen termi on kokonaispotentiaali tai pohjaveden taso, eli sijaintipotentiaalin ja painepotentiaalin summa. Tässä raportissa käytetään termiä pohjaveden taso. Pohjaveden taso voi vaihdella syvyyden mukaan ja siksi se voi myös olla erilainen erilaisissa maa- ja kallioperissä. Pohjaveden taso maaperässä ja vastaavasti kallioperässä ovat siksi yleisesti käytettäviä termejä tässä raportissa.

Pohjaveden tasoa ei saa sekoittaa vapaan pohjaveden pinnan sijaintiin. Pohjaveden pinnan sijainti vastaa tasoa, jossa veden paine on sama kuin ilmakehän paine. Pohjaveden tason yläpuolella vallitsevat kyllästymättömät olosuhteet ja vedessä on ilmakehää alhaisempi paine. Vaikutusalueetta laskettaessa pohjaveden pinnan nykyisen sijainnin eroa on verrattu pohjaveden pinnan laskettuun sijaintiin erilaisissa tulevaisuuden skenaarioissa.

Ilmalla täyttyneitä onkaloita kallioperässä kaivoskuilujen ja tunnelien muodossa kuvataan tässä raportissa "ilmakehän paineen alueiksi". Alueesta, jolta pohjavesi valuu kaivoksen eri osiin, käytetään usein englanninkielistä termiä "capture zone". Koska tämä raportti on kirjoitettu ruotsiksi, tässä käytetään termiä "kaivoksen valuma-alue".

2 Yleinen metodiikka ja mallinnusstrategia

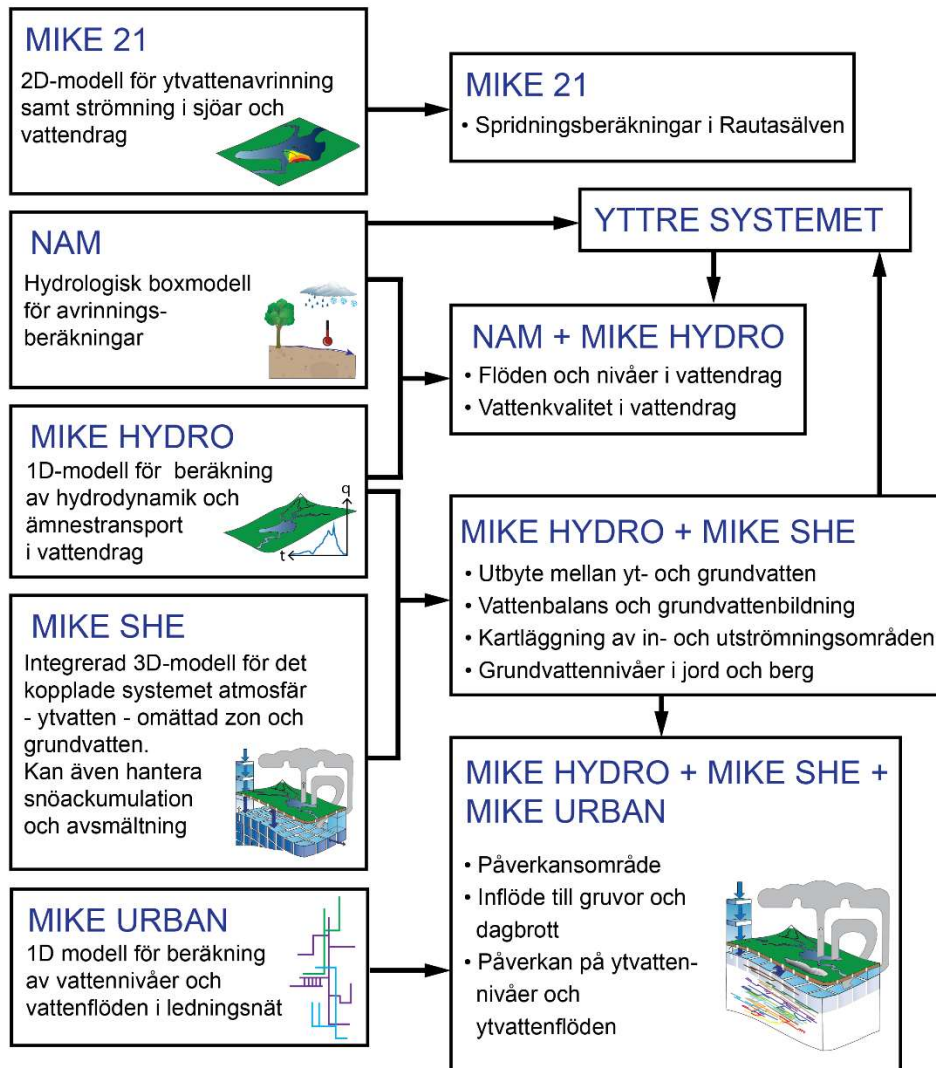
Integroidun pinta- ja pohjavesijärjestelmän alueen ymmärtämiseksi on käytetty useita erilaisia numeerisia mallinnustyökaluja, Figur 2-1. Eri työkaluja, kukin yksittäin tai toisiinsa yhdistettynä, vastataan erilaisiin kysymyksiin, jotka puolestaan muodostavat ympäristöarvioinnin perustan. Yhdistämällä useita työkaluja voidaan ottaa huomioon erilaiset pinta- ja pohjavesijärjestelmässä vallitsevat tila- ja aika-asteikot. Yleisesti ottaen pintavesissä ja pinnallisissa pohjavesissä vallitsevat nopeat ajankulut, kun taas pohjavesijärjestelmän suuremmissa syvyyksissä vallitsevat hitaammat prosessit. Koska syvällä olevaan pohjaveteen vaikuttavat sekä ilmakehän prosessit (sade, lumen kerääntyminen/sulaminen, haihtuminen) että pintaveden dynamiikka, on nämä prosessit otettava huomioon analysoitaessa pohjavesiprosesseja suuremmissa syvyyksissä. Yhdistämällä erilaisiamallinnustyökaluja, jotka keskittyvät integroidun pinta- ja pohjavesijärjestelmän tietyn osan prosesseihin, voidaan kunkin kysymyksen kannalta oleelliset eri aika-asteikot käsitellä optimaalisesti.

Figur 2-1 sisältää mallitutkimuksessa käytetyt erilaiset työkalut sekä sen, mitä kysymyksenasetteluja kunkin työkalun tai niiden yhdistelmän avulla analysoitiin. Mainittuja työkaluja kuvataan sitten tarkemmin luvussa 3.

Vesistöjen virtaamiin ja tasoihin liittyville ongelmille on luotu pintavesimalli käyttämällä yksiulotteista hydrodynamista mallia (MIKE HYDRO River), joka on yhdistetty kuivatusmalliin (NAM). Vesistöjen veden laatua on analysoitu yksiulotteisella pintavesimallilla ja leviämislaskelmat on tehty kaksiulotteisella pintavesimallilla (MIKE 21). Pinta- ja pohjaveden vuorovaikutusta, kokonaisvesitasetta ja pohjaveden muodostumista koskeviin kysymyksiin on käytetty mallia, joka ottaa huomioon sekä ilmakehän prosessit, pintaveden että kyllästyneen ja kyllästymättömän virtauksen maa- ja kallioperässä (MIKE SHE). MIKE SHE on sitten yhdistetty MIKE HYDRO Riveriin mahdollisimman tarkan vaihtuvuuden kuvaamiseksi vesistöjen ja ympäröivän pohja- ja pintaveden välillä. Tulevan kaivostoiminnan vaikutusten tutkimiseksi MIKE SHE yhdistetään lopulta yksiulotteiseen putkivirtausmalliin (MIKE URBAN), jolla kuvataan kallion ja kaivostunnelien/kuilujen välistä vedenvaihtoa. Kohdissa 2.1 ja 2.2 esitetään yksityiskohtaisempi kuvaus pinta- ja pohjavesimallinnuksen metodiikasta.

NAM-mallista lasketut virtaamat muodostavat ulkoisen järjestelmän mallin pohjatiedot, jotka puolestaan muodostavat perustan MIKE HYDRO -laskelmille tulevien ylivirtausten ja erilaisten liuenneiden aineiden pitoisuuksien osalta, kun ne tehdään analysoimaan hydrologisia olosuhteita tulevan kaivostoiminnan aikana. Pinta- ja pohjavesimallien (NAM, MIKE HYDRO River ja MIKE SHE) ja ulkoisen järjestelmän välinen integraatio ja mallinnuksen eri vaiheissa tapahtuva iteratiivinen prosessi on kuvattu tarkemmin vedenkäsittelysuunnitelmassa (Liite A2) .

MODELLVERKTYG PLATSSPECIFIK TILLÄMPNING



Kuva 2-1. Kaaviokuva, joka esittää integroidun hydrologisen/hydrogeologisen pinta-/pohjavesimallin ja sen eri komponentit/työkalut. Mallinnustyökalujen alla olevissa ruuduissa näkyvät työkalut, joita on käytetty yksittäin ja yhdistelmänä erilaisten hydrologisten prosessien kuvaamiseen ja käsittelyyn. Kohdekohtaisen sovelluksen alla olevissa ruuduissa luetellaan kysymyksenasettelut, joihin mallinnustyökalu tai työkalujen yhdistelmä kykenee vastaamaan. Ulkoisen järjestelmän malli on erityisesti kehitetty malli, joka pystyy tuottamaan purkuvesistöön muodostuvan ylivirtauksen.

2.1 Pintavesimallinnus

On olemassa riski, että kaivostoiminta voi vaikuttaa ympäröivään ympäristöön (SGU 2020). Sitä, miten suuri vaikutus kaivostoiminnalla voi olla ympäristöön, säännellään lailla ja se voi vaihdella riippuen esimerkiksi siitä, mitä louhitaan, ympäröivästä luonnosta, suojelluista kohteista ja ihmisten läheisyydestä (Karlton 2008). Metallien ja muiden aineiden päästöt tapahtuvat pinta- ja pohjavesien kautta ja niillä on yleensä suurin vaikutus lähivesistöihin (SGU 2020). Erilaiset aineiden pitoisuudet voivat olla haitallisia ihmisille ja ekosysteemeille, ja siksi nykyisten ja tulevien kaivostoimintojen tuloksena syntyvää veden laatua tulee arvioida. Nämä arvioinnit ovat tärkeitä päätöksenteon pohjana ja helpottamassa kaivostoimintoista peräisin olevan veden valvontaa, sääntelyä ja puhdistusta.

Jotta saataisiin hyvä yleiskäsitys nykyisestä veden laadusta ja pystyttäisiin arvioimaan tulevan toiminnan vaikutuksia veden laatuun, alueen hydrologian ja veden laadun malli voi olla tehokas työkalu. Veden laatua koskeva malli, joka liittyy myös hydrologiaan, voi antaa sekä hyviä arvioita tulevista pitoisuuksista vesistöissä, joihin kohdistuu suurin vaikutus että alueista, joilla on ensisijaisesti toteutettava sääntelyä ja puhdistusta. Tämä helpottaa kaivostoiminnan päästöjen kustannustehokasta minimoimista ja veden laadun seurantaan siten, että eri aineiden pitoisuudet pysyvät sallituissa rajoissa. Malli tarjoaa myös mahdollisuuksia herkkyyksianalyysiin, joissa testataan erilaisiaskenaarioita ja analysoidaan, miten erilaiset ilmastot, päästöt ja virtaamat vaikuttavat purkuvesistöjen tuleviin tasoihin. Tämän myötä mallista tulee tehokas työkalu päästömuutosten tulevien vaikutusten laskemiseen liittyvien epävarmuustekijöiden vähentämiseen. Mallista tulee myös tärkeä osa päätöksenteon perustaa sen ratkaisemiseksi, tuleeko ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä toteuttaa ja milloin. Siksi pintavesimalli on yhdistetty kuljetusmalliin, jotta voidaan arvioida alueen veden laatua. Kohdissa 2.1.1 ja 2.1.2 alla kuvataan tämän tutkimuksen puitteissa eri työkaluilla laadittujen pintavesimallien kokonaismetodiikkaa.

2.1.1 Pintavesimalli – virtaamat ja vedenlaatu

Jotta voitaisiin kuvata ja arvioida, miten alueen tuleva kaivostoiminta vaikuttaa paikalliseen hydrologiaan ja vesikemiaan, luotiin pintavesimalli, joka koostuu valumalaskelmien hydrologisesta mallista (NAM) ja yksiulotteisesta mallista (MIKE HYDRO River) virtausten ja tasojen laskemista varten. MIKE HYDRO River -malli rakennetaan vesistöjen mitattujen poikkileikkauksen ja pituusprofiilien sekä korkeusmallin ja ilmakuvioiden tietojen perusteella. Ilmakuviot ovat saatavana Pahtajoesta, Luossajärvestä, Tvillingsjö-järjestelmästä ja osasta Rautasjokea.

Hydrologinen NAM-malli on määritetty useille osavalmu-alueille ja kalibroitu lataamalla havaintojen mukaiset sademäärä- ja lämpötilatiedot. Malliparametreja hienosäädetään tämän jälkeen, kunnes simuloitujen virtaamien muodostavat hyvän likiarvon havaituista. Kalibroitu NAM-mallia voidaan sitten käyttää virtaamien laskemiseen ajanjaksoille, joiden aikana ei ole virtaamien mittauksia. Tämä tehdään ohjaamalla mallia näiden ajanjaksojen meteorologisilla tiedoilla. Mallia voidaan käyttää myös tuottamaan virtaamatietoja muistakin vesistöjen kohdista kuin mittausten tapahtumapaikoista.

Virtaamat tuodaan sitten NAM:stä MIKE HYDRO Riveriin ja ne muodostavat mallin ylä- ja alavirran suuntaiset ja myös sisäiset reunaehdot. Vedenlaadun mittauksista saatuja havaintoja käytetään mallissa erilaisten aineiden lähteiden kuvaamiseen. Vakiintuneita malleja voidaan käyttää virtaamien ja veden laadun muutoksien arviointiin eri skenaarioissa, kuten esimerkiksi maankäytön muutoksissa, veden uudelleensijoittelussa tai ohjaamisessa ja päästöissä tapahtuvissa muutoksissa. Kohdissa 6.1.1 ja 6.1.3 kuvataan yksityiskohtia mallialueesta ja näiden mallien raja-arvoista.

2.1.2 Pintavesimalli – leviämislaskelma Rautasjoessa

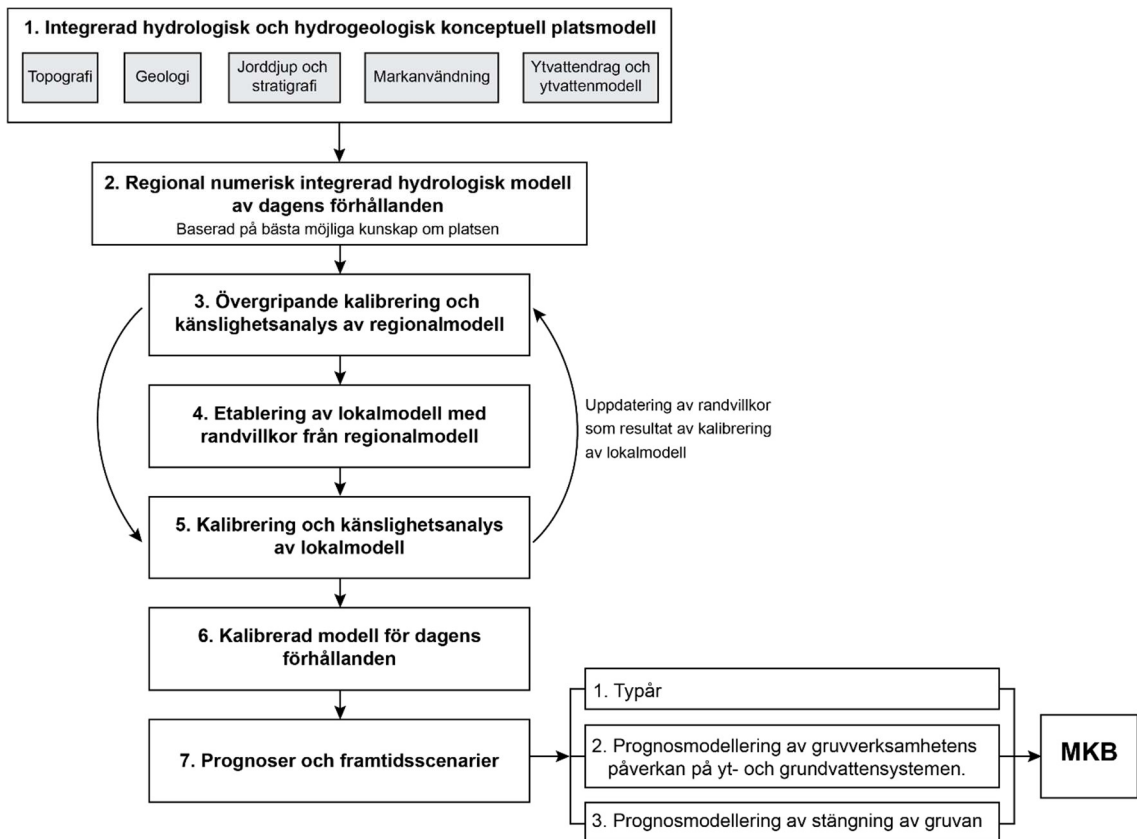
Yllä kuvattua MIKE HYDRO River -mallia voidaan käyttää vain virtaamien ja tasojen laskemiseen yksiulotteisesti. Pahtajoen suhteellisen saastuneen veden leviämisen ja sekoittumisen kuvaamiseksi ja arvioimiseksi Rautasjoessa MIKE21:een perustetaan kaksiulotteinen malli täydentämään MIKE HYDRO River -mallia. Malli rakennetaan useista mitatuista poikkileikkauksista, pituusprofiileista, korkeusmalleista ja ilmakuvioiden Rautasjoesta. Mallia kuormitetaan sen jälkeen mitatuilla virtaamilla ja kalibroidaan mitattuja vedenkorkeuksia ja merkkiainetestiä tuloksia vasten. Kalibroitu mallia voidaan sitten käyttää arvioimaan leviämismuutoksia erilaisille kuormitustapauksille, kuten virtaamille ja pitoisuuksille, sekä paikantamaan sopivat paikat hallintaohjelmille. Kohdassa 6.1.4 on lisätietoja leviämislaskelmista.

2.2 Integroitu pinta- ja pohjavesimalli

Integroidun pinta- ja pohjavesimallinnuksen metodiikka on kuvattu kaavamaisesti kohdassa Figur 2-2. Kokonaisvaltainen käsitteellinen paikkamalli saadaan yhdistämällä tietoa meteorologian sekä pinta- ja pohjaveden tasojen aikasarjoista tukimalleihin, jotka kuvaavat topografiaa, maaperäkerrosten järjestystä, kallion rakoilujärjestelmää ja maankäyttöä. Käsitteellinen paikkamalli luo sitten perustan numeeriselle mallille, joka on muodostettu kahdessa eri mittakaavassa, aluemallissa ja paikallisessa mallissa. Alueellisessa mallissa on karkeampi tarkkuus ja se on luotu analysoimaan läheisen Kiirunavaaran kaivoksen mahdollisia vaikutuksia Viscarian alueelle, kun taas paikallinen malli on luotu tutkimaan/analysoimaan tulevia kaivostoiminnan vaikutuksia. Pintavalumaprosesseja ei ole kuvattu yksityiskohtaisesti alueellisessa mallissa, vaan painopiste on pohjaveden korkeuksissa, jotta Viscarian kaivoksen ympärillä olevassa korkeamman resoluution mallissa voidaan soveltaa jokaiseen laskentakerrokseen ajallisesti muuttuvaa rajaa lasketuilla pohjaveden tasoilla, sillä mallivana paikalliseen malliin ei käy yksiin vedenjakajan kanssa. Kahta mallialuetta, niiden spatiaalista resoluutiota ja ominaisuuksia kuvataan yksityiskohtaisemmin kohdassa 6.2, kun taas kalibroinnin metodiikkaa kuvataan luvussa 7. Aluemallin reunaehdoilla muodostetaan sitten paikallinen malli ja tehdään laaja kalibrointi ja herkkyysanalyysi. Kalibrointi tapahtuu ajanjaksolla, jolloin tietojen saatavuus on mahdollisimman hyvä, ja useita vuosia simuloidaan, jotta voidaan ottaa huomioon sekä vuoden sisäiset että vuosien väliset kalibroinnin vaihtelut. Tämä on iteratiivinen prosessi, jossa kalibroinnin ja herkkyysanalyysin seurauksena paikalliseen malliin tehdyt muutokset palautetaan alueelliseen malliin rajaehdojen päivittämiseksi.

Kalibroinnin tavoitteena on synnyttää malli, joka kuvaa integroitua pinta- ja pohjavesijärjestelmää mahdollisimman hyvin, mikä merkitsee, että ajoittain on parhaiden mallitulosten ja havaintojen välille löydettävä tasapaino. Tietty parametointi voi esim. antaa erittäin hyvän yhteensopivuuden mallin ja havaintojen välillä pintavedessä, mutta huonomman yhteensopivuuden pohjavedessä. Siksi sekä pinta- että pohjavedestä maaperässä ja kalliosta tehdyt havainnot otetaan huomioon kalibroinnin yhteydessä.

Kun kalibrointitavoitteet on saavutettu, nykyisille olosuhteille on laadittu malli, jota käytetään kuvaamaan tämänhetkisen ilmaston ääritilanteita simuloimalla erilaisia tyyppivuosia kuiville, normaaleille ja kosteille olosuhteille. Tämänhetkistä tilannetta vastaava kalibroitu malli on nyt työkalu tulevaisuuden kaivostoiminnan ja kaivoksen sulkemisen vaikutusten ennustamiseksi. Kerätyt mallitulokset muodostavat sitten pohjan YVA:lle.



Kuva 2-2. Työnkulun kaaviokuvaus tiedonkeruusta kaivostoimintaa koskevassa ennusteessa käytettävään kalibroituun malliin.

2.3 Analysoidut skenaariot

Tässä raportissa esitetyt hydrologiset ja hydrogeologiset analyysit kuvaavat nykytilannetta sekä kaivoksen perustamisen ja toiminnan eri vaiheita. Vaiheet ja niihin sisältyvät alivaiheet on kuvattu kohdassa **Tabell 2-1**.

Taulukko 2-1. Tässä selvityksessä analysoidut laskentavaiheet ja -alivaiheet. Yksityiskohtainen kuvaus vaiheista ja alivaiheista on YVA:n liitteessä B.

Perustamisvaihe: Tämä vaihe kuvataan kahdessa eri alivaiheessa, joista käytetään nimityksiä vaihe 1 ja vaihe 2.	
Vaihe	Alivaihe
Vaihe 1 (nykytila)	Kun kaivos avataan uudelleen, ensimmäisessä vaiheessa kuvataan nykyiset olosuhteet alueen hydrologian, hydrogeologian ja vedenkäsittelyn osalta.
Vaihe 2 (tyhjennys)	Uudelleen avauksen toisessa vaiheessa kuvataan veden lasku ja ohjaus muualle, kun tällä hetkellä veden täyttämä kaivos tyhjenetään.
Käyttövaihe: Tämä vaihe kuvataan kolmessa eri alivaiheessa, joista käytetään nimityksiä 3:30%, 3:70% ja 3:100%	
Vaihe 3:30%	Vesiolosuhteet 30-prosenttisesti louhitussa kaivoksessa.
Vaihe 3:70%	Vesiolosuhteet 70-prosenttisesti louhitussa kaivoksessa.
Vaihe 3:100%	Vesiolosuhteet 10 vuoden tuotannon jälkeen, 3 miljoonaa tonnia vuodessa.
Jälkihoitovaihe: Tämä vaihe kuvataan kahdessa eri alivaiheessa, joista käytetään nimityksiä vaihe 4 ja vaihe 5.	
Vaihe 4	Vesiolosuhteet jälkihoitovaiheessa.
Vaihe 5	Vesiolosuhteet jälkihoitovaiheen jälkeen, kun hydrologisen ja hydrogeologisen järjestelmän oletetaan kyllästyneen uudelleen.

Laskelmat kaivoksen eri vaiheista taulukon **Tabell 2-1** mukaisesti on tehty vaiheille 1–4 sekä hydrologisissa malleissa että integroidussa pinta- ja pohjavesimallissa. Integroidussa pinta- ja pohjavesimallissa on tehty laskelmia myös vaiheesta 5 hydrogeologisen järjestelmän uudelleenkyllästymisajan analysointia varten. Nämä vaihetta 5 koskevat laskelmat ovat myös mahdollistaneet jälkihoidetun toiminta-alueen tulevien valumien kvantifioinnin. Alla kuvataan käytettävät laskentaedellytykset ja yleiskatsaus eri vaiheissa sovelletuista tiedoista. Vaiheen 1 (nykytila) ja vaiheen 3:100% (täysin louhittu kaivos) laskelmat on tehty kaikille tyyppivuosille, kun taas muiden vaiheiden laskelmat on tehty vain normaalivuodelle.

Vaihe 1: Nykytilan hydrologiaa ja hydrogeologiaa kuvattu luvussa 4 esitettyjen pohjatietojen perusteella.

Vaihe 2: Tyhjennysvaihe tarkoittaa aikaa, jolloin nyt veden täyttämä maanalainen kaivos tyhjenetään. Laskelmissa on lähtökohtana nykytilan malli maanpinnan kuvauksesta ja valuma-alueiden jakautumisesta, ja kaivoksen tyhjennysnopeuden arvioidaan olevan 600 m³/h. Tämä vesi puhdistetaan ennen sen päästämistä purkuvesistöön.

Vaihe 3:30%, vaihe 3:70% ja vaihe 3:100%: Vaihe 3 on jaettu kolmeen eri alivaiheeseen, jotka edustavat eri asteisesti louhittua kaivosta. Vaihe 3:100% on täysin louhittu kaivos ja se kuvaa tilannetta, jossa kaikki malmi kaikilla malmivyöhykkeillä (A-, B, D-vyöhykkeet) on louhittu 800 metrin syvyyteen asti. Hylkykivivarastojen, rikastushiekka- ja selkeytsaltaiden geometriat ja sijainnit vaiheessa 3 suunnitellaan alueen rakennekuvauksen v 1.31 mukaisesti. Rakennekuvauksen version 1.31 mukainen rakenne esitetään kuvassa Figur 1-2, ja tämän vaiheen aikana maan alla ja päällä tapahtuvaa toimintaa kuvataan yksityiskohtaisemmin YVA:n kohdassa 2.1 (Liite B). Tapa, jolla avolouhosten ja maanalaisten kaivosten jakautuminen kuvataan pohjavesimallissa vaiheen 3 aikana, esitetään kohdassa 6.2.4. Jo 30-prosenttisesti louhitussa kaivoksessa (eli vaiheessa 3:30%) oletetaan, että kaikki avolouhokset on perustettu A-, B- ja D-vyöhykkeille. Tämän vuoksi rakennekaaviota 1.31 on käytetty kuvaamaan myös vaiheiden 3:30% ja 3:70% topografiaa ja valuma-alueita. Yksityiskohtainen kuvaus kaivoksen muodosta kaikissa vaiheen 3 alivaiheissa on liitteessä A3.

Tässä raportissa esitettävät vaiheen 3 toiminnasta aiheutuvien vaikutusten analyysit perustuvat alueen rakennekaavioon 1.31, kun taas monet asiaan liittyvät analyysit perustuvat rakennekaavion versioihin v 1.41 ja v 2.0. Liitteessä A1 esitetään hakemusta koskevan alueen rakenteen asettelu (v 2.0). Erot eri asetteluversioiden v 1.31 – v 1.41 – v 2.0 välillä vaikuttavat pääasiassa rikastushiekka-altaan laajentamiseen sekä infrastruktuurin ja rakennusten suunnitteluun, eivätkä ne vaikuta hylkykiven varastointiin tai avolouhosten laajentamiseen. Asettelyn versio 1.41 koskee uuden rikastushiekka-altaan suunnittelua (Liite A3), jossa ero rikastushiekka-altaan asettelujen v 1.31 ja 1.41 välillä on 4,5 %. Koska käyttövesi johdetaan selkeytsaltaaseen käyttövaiheen aikana ja rikastushiekka-altaan pinta-alan erolla versioissa 1.31 ja 1.41 katsotaan olevan vähäinen vaikutus valumaan, vaikutus rikastushiekka-altaan ulosvirtaukseen on mitätön asettelusta riippumatta. Infrastruktuurin ja rakennusten sijainnin erojen versioiden 1.31 ja 2.0 välillä ei katsota vaikuttavan tässä raportissa esitettäviin pinta- ja pohjavesilaskelmiin.

Vaihe 4: Tässä vaiheessa kaivostoiminnan oletetaan edelleen vaikuttavan pohjavesitasoihin. Tälle vaiheelle laskettujen skenaarioiden pohjana on siksi sama pohjavesivaikutus kuin täysin louhitussa kaivoksessa. Prosessivesi, joka kuormittaa rikastushiekka- ja selkeytsallasta käytön aikana, poistetaan tässä mallin vaiheessa käytöstä. Sen sijaan alueelta pois valuva vesi ja osa kaivokseen vuotavasta vedestä ohjataan puhdistettavaksi. Kaivoksen alkuvaiheen uudelleenkyllästymisaikana poistettava vesi puhdistetaan ennen sen päästämistä purkuvesistöön.

Vaihe 5: Vaiheen 3 ja 100 prosentin pohjalta on tehty laskelmia maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksen uudelleenkyllästymisajan arvioimiseksi yhdistetyssä pinta- ja pohjavesimallissa. Valuma jälkihoidetulta toiminta-alueelta sen jälkeen, kun avolouhoksessa saavutettu kynnystaso, on laskettu. Kaksi erilaista tapausta uudelleentäytetyllä avolouhoksella ja ilman sitä on simuloitu hydrologisen normaalivuoden osalta.

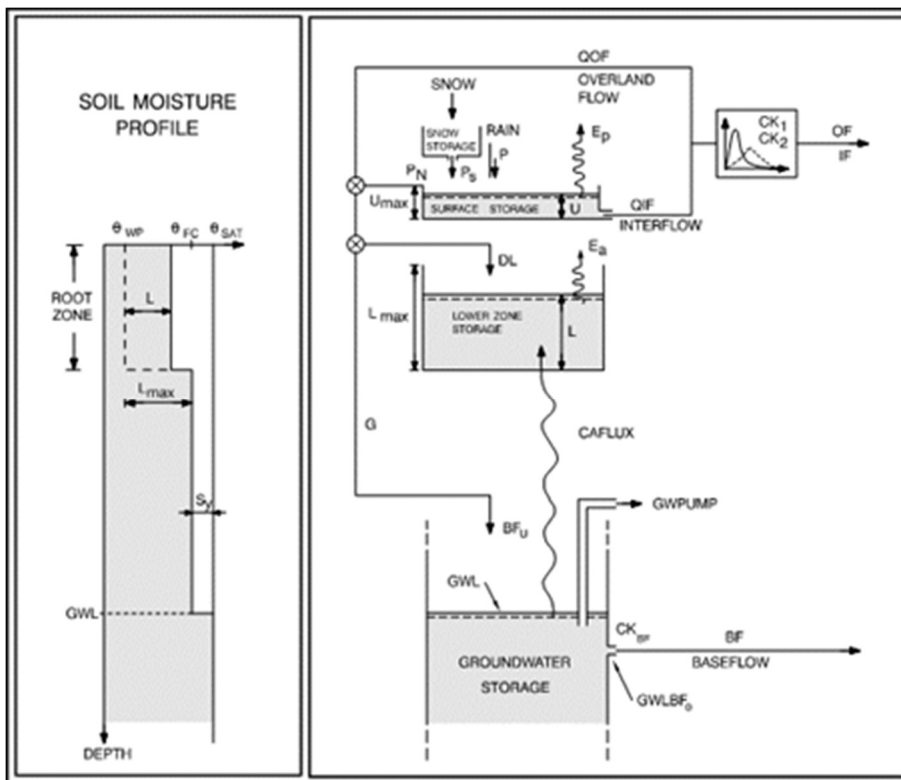
3 Mallinnustyökalu

Figur 2-1 sisältää erilaiset mallinnustyökalut, joita on käytetty mallinnustyössä. Alla on kuvattu jokainen mallinnustyökalu siihen liittyvien prosessien perusteella. Jokaisen mallityökalun osalta löytyy sitten viittauksia asiakirjoihin, joissa ohjaavat yhtälöt ja yhteydet eri mallikomponenttien välillä kuvataan tarkemmin.

3.1 MIKE HYDRO River ja NAM

Hydrologiseen ja hydrodynamiseen mallinnukseen käytetään MIKE HYDRO River -mallinnustyökalua yhdessä NAM:n kanssa, joka on eri moduuleista koostuva mallinnusjärjestelmä (DHI, 2021a). NAM, Figur 3-1, on malli, joka kuvaa valumaa eri osaluodoilta, kun taas MIKE HYDRO River HD on työkalu, joka kuvaa vesistöjen hydraulikkaa eli vedenkorkeuden, veden nopeuden ja vesistöjen virtaamien muutoksia. MIKE HYDRO River HD on yksilulotteinen mallinnustyökalu, kun taas NAM on ns. rainfall-runoff-malli, joka on samanlainen kuin SMHI:n kehittämä HBV-malli (Bergström 1976; Lindström et al. 1997). Tämä tarkoittaa sitä, että se pitää poikkileikkauksessa olevaa vettä tietyn aikavaiheen ajan homogeenisena vesipaketina. Kaikista tietyn aikavaiheen muutoksista syntyy vesipaketin keskiarvo. Vesipaketilla voi olla positiivinen tai negatiivinen virtaussuunta. Liittämällä hydrologisen mallin eri osavesialueet hydrauliseen malliin voidaan kuvata virtauskuorman tilavaihtelua mallialueen sisällä.

Kuljetuslaskelmissa on käytetty MIKE HYDRO River AD:tä. MIKE HYDRO River AD on lisämoduuli, joka käyttää MIKE HYDRO River HD:n virtaustuloksia laskeakseen konservatiivisten aineiden kulkeutumisen vesistöä pitkin ratkaisemalla advektio-dispersioyhtälön (DHI 2021a). MIKE HYDRO Riverin advektio-dispersioyhtälö ratkaistaan yhdessä ulottuvuudessa.



Kuva 3-1. NAM-mallin rakenne ja siihen liittyvät malliparametrit.

Alla esitetään lyhyt kuvaus eri NAM-parametreista, jotka näkyvät kohdassa Figur 3-1:

- U_{max} ilmaisee vaadittavaa sademäärää ennen todellisen valumisen tapahtumista ohjaavan säiliön koon.
- L_{max} ilmaisee juurivyöhykkeen varastointikapasiteetin, joka periaatteessa voidaan muuntaa tehokkaaksi huokostilavuudeksi ns. kuihtumisrajan ja kenttäkapasiteetin välillä.
- CQOF ilmaisee, miten suuri osa valumasta tapahtuu pinnallisissa kerroksissa nopeammalla vasteella kyllästyneissä olosuhteissa. Tätä virtauskomponenttia kutsutaan nimellä "overland flow". Loppuosa siivilöityy juurivyöhykkeelle ja pohjavesisäiliöön. Jakauma juurivyöhykkeelle jäävän ja alas pohjaveteen imeytyvän veden välillä määräytyy juurivyöhykkeen säiliön sisällön mukaan.
- CKIF on lineaarinen aikavakio, joka osoittaa, miten nopeasti vesi kykenee valumaan pintasäiliöstä. Tätä virtauskomponenttia kutsutaan nimellä "interflow", ja alhaisempi arvo merkitsee nopeampaa valumista.
- CK1 ja CK2 ovat lineaarisia aikavakioita kahdelle säiliölle, joiden läpi sekä "interflow" että "overland flow" kulkevat. Näiden tehtävänä on säännellä valumisprosessissa tapahtuvaa vaimennusta ja aikasiirtymää, ja arvojen aleneminen johtaa nopeampaan valumiseen.
- CKBF on lineaarinen aikavakio, joka ilmaisee pohjaveden virtausvasteen. Pienempi arvo lisää pohjaveden virtausta nopeammin ja sen myötä aikaansaa myös pienemmän perusvirtauksen pidemmän kuivan ajan jälkeen, ts. vesi loppuu nopeammin.
- CQlow:ta käytetään tapauksissa, joissa on tarpeen käyttää kahdentyyppisiä pohjavesisäiliöitä, joista alemmalla on tyypillisesti pienempi vaste ja siten suurempi aikavakio, ja josta tässä käytetään nimitystä CKlow. CQlow ilmaisee ylemmän ja alemman pohjavesikerroksen välisen jakauman.
- TOF, TIF ja TG ovat kynnsarvoja, jotka liittyvät juurivyöhykesäiliön (L) vesisisältöön. Jos vesipitoisuus juurivyöhykkeellä laskee tietyn tyyppisen valuman kynnsarvon alapuolelle, valuma lakkaa. Valuma kasvaa lineaarisesti kynnsarvon ja veden kyllästymisen ($L=1$) välillä.

3.2 MIKE 21

MIKE 21 on hydrodynaaminen kaksiulotteinen malli, joka sisältää advektio-dispersion ratkaisun (DHI 2021b). Se eroaa MIKE HYDRO River HD:stä siinä, että se erottaa poikkileikkauksen joukoksi soluja. Tämä merkitsee, että malli pitää jokaisen poikkileikkauksen kennon vettä homogeenisena vesipakettina sen sijaan, että, kuten yksiulotteisessa mallissa, koko poikkileikkausta pidettäisiin yhtenä homogeenisena vesipakettina. Kaksiulotteinen malli ei ratkaise virtausta syvyysuunnassa (z-suunta), vaan ratkaisee virtauksen tasossa (xy-suunta), siten kaksiulotteisesti. MIKE 21:tä voidaan siis käyttää kuvaamaan, miten aine leviää vesistöissä xy-tasossa, mutta ei z-suunnassa. Yhteenvetona voidaan todeta, että MIKE 21 laskee sekä virtausnopeuden että advektio-dispersioyhtälön kahdessa ulottuvuudessa.

3.3 MIKE SHE

MIKE SHE on integroitu hydrologinen mallinnusjärjestelmä, joka kuvaa maalla tapahtuvan hydrologisen kierron pääprosesseja, mukaan lukien vuorovaikutuksen ilmakehän kanssa sateen ja haihtumisen muodossa. Meressä tapahtuvia ja meren kanssa vuorovaikutuksessa

olevia prosesseja ei käsitellä. MIKE SHE on fysiikkaan perustuva hajautettu malli, mikä merkitsee, että mallin laskenta-algoritmit perustuvat fysiikan lakeihin ja pohjatietoja voidaan vaihdella sekä ajallisesti että paikallisesti. Laskelmia voidaan tehdä sekä vakaille että ajallisesti vaihteleville olosuhteille. MIKE SHE on integroitu kanavavirtausmallin MIKE HYDRO River kanssa (ks. 3.1), joka kuvaa tasoja ja virtaamia järvissä ja vesistöissä. Sekä MIKE SHE:tä että MIKE HYDRO Riveriä ajetaan samanaikaisesti ja niiden välistä vedenvaihtoa lasketaan jatkuvasti simulaation avulla. Tässä tutkimuksessa käytetty mallinnusversio on versio 2021, ja mallinnustyökalun yksityiskohtainen kuvaus löytyy DHI:stä (2021c) sekä julkaisusta Graham and Butts (2005). MIKE SHE on hyvin käytetty ja vakiintunut mallinnustyökalu, jota on käytetty useissa teollisuudelle suunnatuissa tutkimuksissa (Berglund et al. 2013; Bosson et al. 2012a; 2012b) ja tiedemaailmassa (Jutebring Sterte et al. 2018; 2021). Mallinnustyökalu soveltuu monenlaisiin vesivarjoja- ja ympäristöä koskeviin kysymyksiin, jotka liittyvät pinta- ja pohjavesijärjestelmiin ja niiden väliseen vuorovaikutukseen. Pinta- ja pohjavesijärjestelmässä on useita prosesseja, jotka ovat keskenään vuorovaikutteiset hyvin monimutkaisella tavalla. Käsittelemällä sekä pinta- että pohjavesiä samassa mallissa, mallinnustulosten epävarmuustekijät vähenevät verrattuna siihen, että niitä käsiteltäisiin erillisissä malleissa. Pinta- ja pohjaveden dynaaminen yhdistäminen MIKE SHE:ssä on hyödyllinen työkalu vastauksen löytämiseksi Viscarian alueen erityiskysymyksiin, jotka koskevat suunnitellun kaivostoiminnan vaikutuksia hydrologiaan ja hydrogeologiaan.

Figur 3-2 esittää MIKE SHE:hen sisältyviä komponentteja. Vedenvaihto eri komponenttien välillä ja kunkin komponentin ohjaavat yhtälöt kuvataan lyhyesti tulevissa kappaleissa.

MIKE SHE käsittelee sateet sekä vesi- että lumisateen muodossa. Jos sade tulee alas lumena, vastaava määrä vettä varastoidaan lumisäiliöön ja vapautetaan suodattumaan tai valumaan pois vasta lumen sulaaessa. Lumen sulaminen ja kerääntyminen hoidetaan ns. astepäivämenetelmällä, jota käytetään monissa hydrologisissa malleissa. Malli pystyy käsittelemään myös lumen uudelleen jäätyminen. MIKE SHE:ssä on myös mahdollista kuvata ikiroutaa ja routaa.

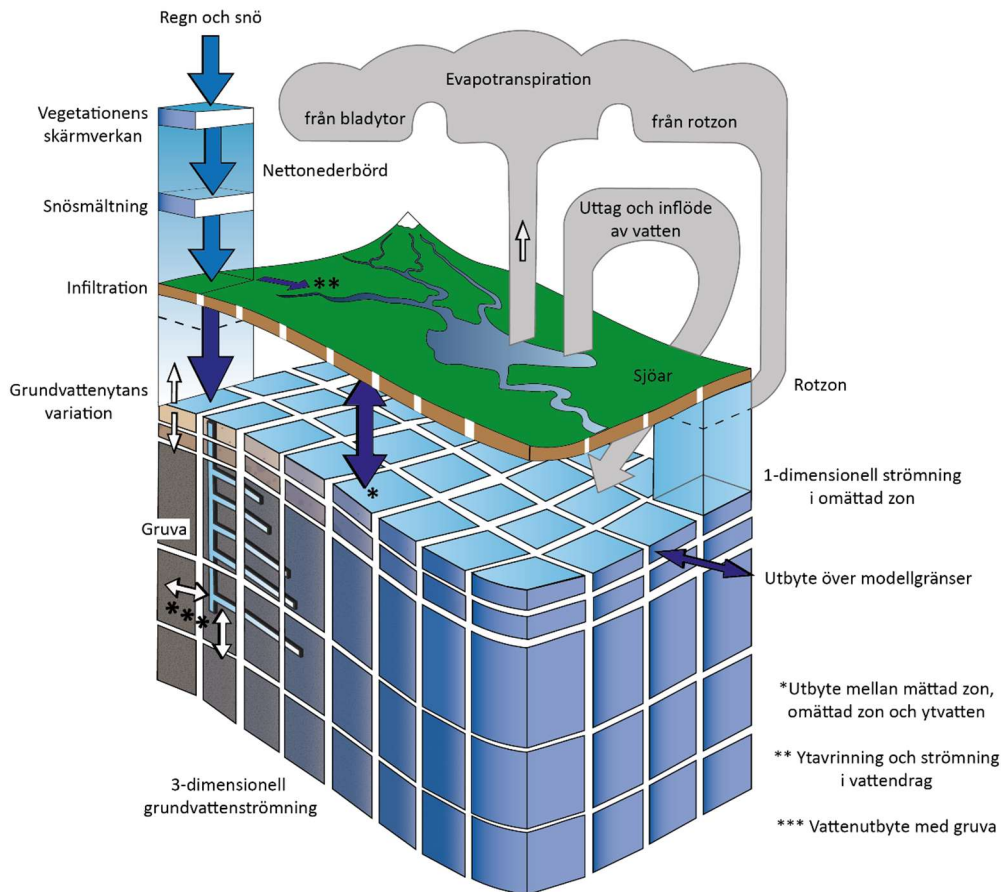
Kokonaishaihtuminen, joka voi poiketa mallista, on jaettu viiteen komponenttiin ja sitä ohjataan syöttämällä malliin pohjatiedoksi ns. potentiaalinen haihtuvuus. Laskettavat komponentit ovat sublimoituminen lumesta, interseptio lehtien pinnoilta, haihtuminen vapailta vedenpinnoilta, transpiraatio kasveista ja haihtuminen maakerroksista.

Sateen kautta maanpintaan päätyneet vesi voi joko suodattua, varastoitua pintavedeksi järviin ja pienehköihin topografisiin syvennyksiin tai valua maanpintaa pitkin. Veden kulkua maan pinnalla kuvataan kahdessa ulottuvuudessa Saint Venantin differentiaaliyhtälön avulla ja vesistöjen hydrodynamiikkaa kuvataan yhdessä ulottuvuudessa täysin integroidun kytkennän kautta MIKE HYDRO River -mallinnustyökaluun (DHI 2021a). Kuten tämän luvun johdannossa mainittiin, vedenvaihto tapahtuu MIKE SHE:n ja MIKE HYDRO Riverin välillä simulaation jokaisessa aikavaiheessa.

MIKE SHE käsittelee sekä kyllästymättömän että kyllästyneen veden virtausta maa- ja kallioperässä. Maahan suodattava vesi voi kyllästymättömällä vyöhykkeellä varastoitua maavedeksi, imeytyä kasveihin tai perkoloitua pohjaveteen. Kyllästymätön virtaus kuvataan vain yhdessä ulottuvuudessa MIKE SHE:ssä ja se lasketaan Richardsin yhtälöllä. Kyllästyneen pohjaveden virtaus lasketaan kolmessa ulottuvuudessa Darcyn lain avulla. Malliin sisältyvät yhtälöt ja niiden sovellukset on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisussa DHI:ssä (2021c).

Vedenvaihtoa mallin eri komponenttien välillä (ilmakehä, maanpinta, kyllästynyt ja kyllästymätön vyöhyke, järvet ja vesistöt) tapahtuu jokaisessa aikavaiheessa. Pohjaveden pinnan sijainti voi vaihdella sekä ajallisesti että paikallisesti ja vaihtelu on seurausta kunkin aikavaiheen virtauksista ja varastoitumisen muutoksista. Luonnonjärjestelmän eri osissa tapahtuvan veden vaihtumisen lisäksi vedenvaihto on mahdollista myös tunneleiden, putkien ja kuilujen avulla. Tässä tutkimuksessa kallioperän ja kaivoksen välistä vedenvaihtoa kuvataan täysin dynaamisen MIKE SHE:n ja MIKE URBANin välisen dynaamisen yhteyden kautta, katso kohta 3.4. Pystykselit kuvataan MIKE SHE:ssä laskentakennoina, joissa on

kiinteä paine (ilmanpaine), jossa sisäänvuoto määritetään lasketun konduktanssin (m^2/s) perusteella ja joka vaihtelee mallin eri laskentakerrosten ominaisuuksien mukaan. Konduktanssissa otetaan siis huomioon sen laskentakerroksen paksuus, jonka läpi kuilu kulkee, tai sen osuuden laskentakerros, johon kuilu koskettaa, jos kuilun pohja on laskentakerroksen alareunan yläpuolella.



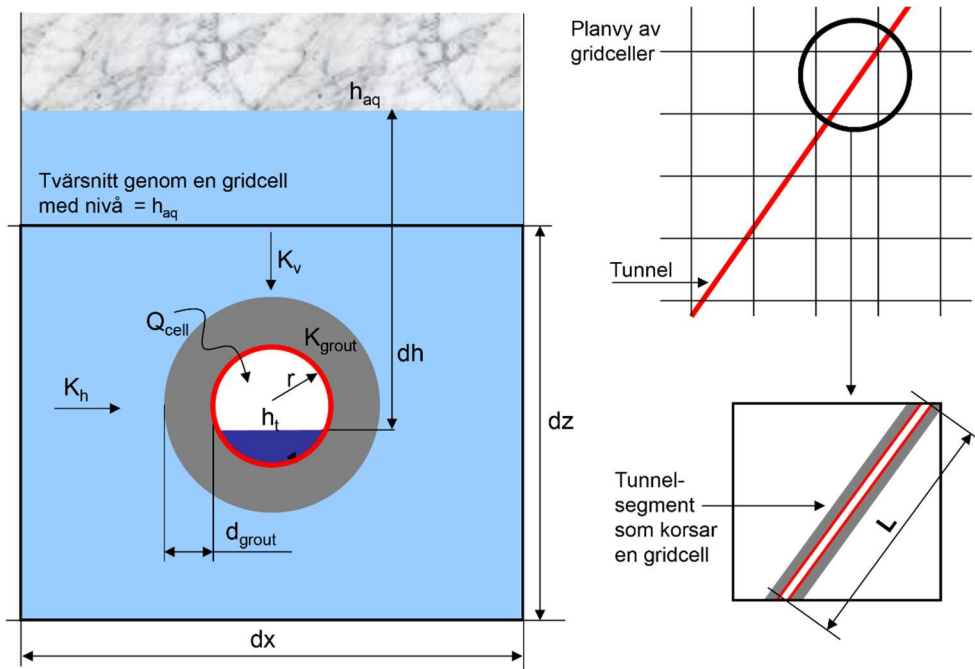
Kuva 3-2. Yleiskuva MIKE SHE:n mallirakenteesta ja komponenteista.

3.4 MIKE URBAN

MIKE URBAN on mallinnustyökalu, jota käytetään ensi sijassa vesi- tai viemäriverkostojen virtaamien kuvaamiseen (DHI 2021d). Koska materiaalivalinnoissa ja linjojen geometrisessa suunnittelussa on suuria vaihteluja, työkalulla voidaan kuvata myös laajemman mittakaavan tunnelijärjestelmiä. Näin on tehty useissa ydinjäteteollisuuden sovelluksissa (esim. Mårtensson ja Gustafsson 2010) ja kaivosteollisuudessa (DHI 2022).

Aivan kuten MIKE HYDRO River myös MIKE URBAN on integroitu MIKE SHE:hen ja vedenvaihto lasketaan dynaamisesti jokaiselle aikavaiheelle. Figur 3-3 sisältää luonnoksen, josta näkyy, miten vedenvaihdon laskeminen MIKE URBANin ja MIKE SHE:n välillä tapahtuu. Lyhyesti voidaan todeta, että vaihto on riippuvainen monista tekijöistä, esimerkiksi ympäröivän kallion hydraulisesta johtavuudesta (K_{aq}), johdon/tunnelin seinän tiivysasteesta (K_{grout}), kallion ja johdon/tunnelin seinän paine-erosta (dh) sekä johdon/tunnelin geometriasta. Tarkempi kuvaus mallien välisen yhteyden toiminnasta löytyy Mårtenssonin ja Gustafssonin julkaisusta (2010).

Vaikka MIKE SHE:n ja MIKE URBANin välistä yhteyttä käytetäänkin tyypillisesti laskettaessa pohjaveden valumista viemäreihin, sitä on käytetty myös laskettaessa pohjaveden sisäänvirtausta tunneliin (esim. Mårtensson ja Gustafsson 2010; DHI 2022). Tässä tutkimuksessa kaivoksen geometriaa on kuvattu ilmanpaineisina putkina MIKE URBANissa. Laskennallisen sisäänvuodon suuruus on riippuvainen ennen kaikkea ympäröivän kallion hydraulisesta johtavuudesta, mutta vedenläpäisevyys (hydraulinen johtavuus) mahdollisella ruiskutusvyöhykkeellä voidaan myös ottaa huomioon, jos kaivoksessa on tehty paikallisia tiivistystoimenpiteitä.



Kuva 3-3. MIKE URBANin ja MIKE SHE:n välinen yhteys. (K_h = horisontaalinen hydraulinen johtavuus, K_v = vertikaalinen hydraulinen johtavuus, K_{grout} = tunnelin seinän tiivistemateriaalin hydraulinen johtavuus, h_t = painetaso tunnelissa, h_{aq} = painetaso ympäröivässä akviferissa, dh = tunnelin ja akviferin välinen paine-ero, Q_{cell} = akviferin ja tunnelin välinen vesivirtaus dx = laskentasolun pituus, dz = laskentasolun korkeus).

4 Pohjatiedot

4.1 Paikallisesti vaihtelevat pohjatiedot

Mallissa käytetyt paikallisesti vaihtelevat pohjatiedot koostuvat topografiasta, vesistöistä ja järvistä, maankäytöstä, geologiasta sekä Viscarian kaivoksen geometrioita ja ominaisuuksia kuvaavasta tiedosta. Koska Kiirunavaaran kaivos kuuluu sijoittuu alueellisen mallin mallialueelle, tämän kaivoksen geometria ja ominaisuudet kuvataan yleisluonteisesti. Seuraavissa osissa kuvataan vastaavat tietojoukot.

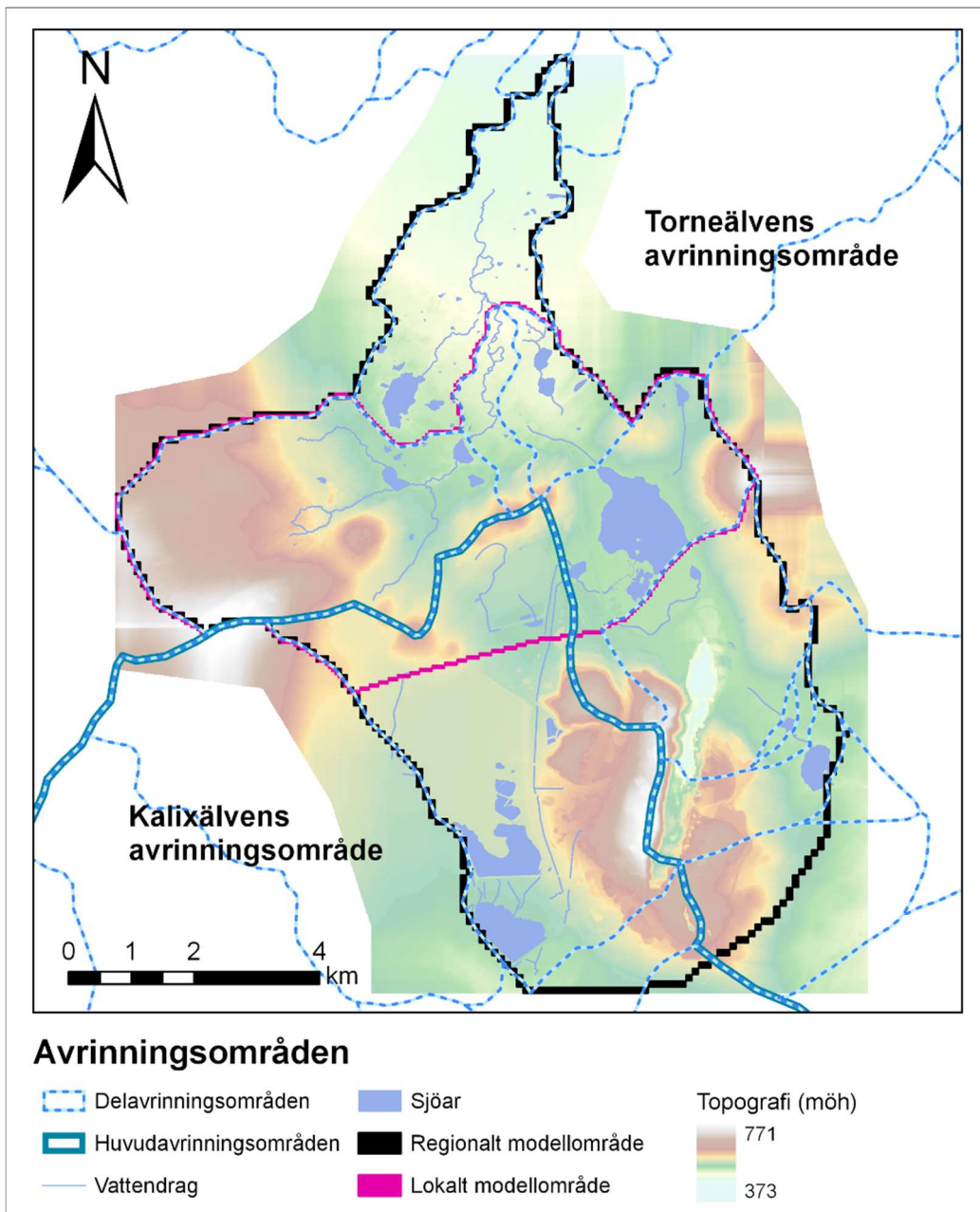
4.1.1 Topografia

Alue on osa ns. esivuoristoaluetta, jolle on ominaista korkealla sijaitsevat tasangot ja satunnaiset tunturinhuiput tai matalat tunturit. Mallialueella topografiaa hallitsevat nämä tasangot, joista lännessä on enemmän ylänkömaastoa ja etelässä ja idässä Kiirunavaara ja Luossavaara sekä mallialueen keskellä sijaitseva Peuravaara, Figur 1-1 ja Figur 4-1. Alueen keskikorkeus on 533 m merenpinnan yläpuolella. ja vaihtelee 370 ja 772 metrin välillä mpy. Malleissa alueen topografian kuvaamiseen on käytetty Ruotsin maanmittauslaitoksen korkeusmallia 2 metrin resoluutiolla, joka perustuu alueen laserskannauksilla tulkittuihin tietoihin.

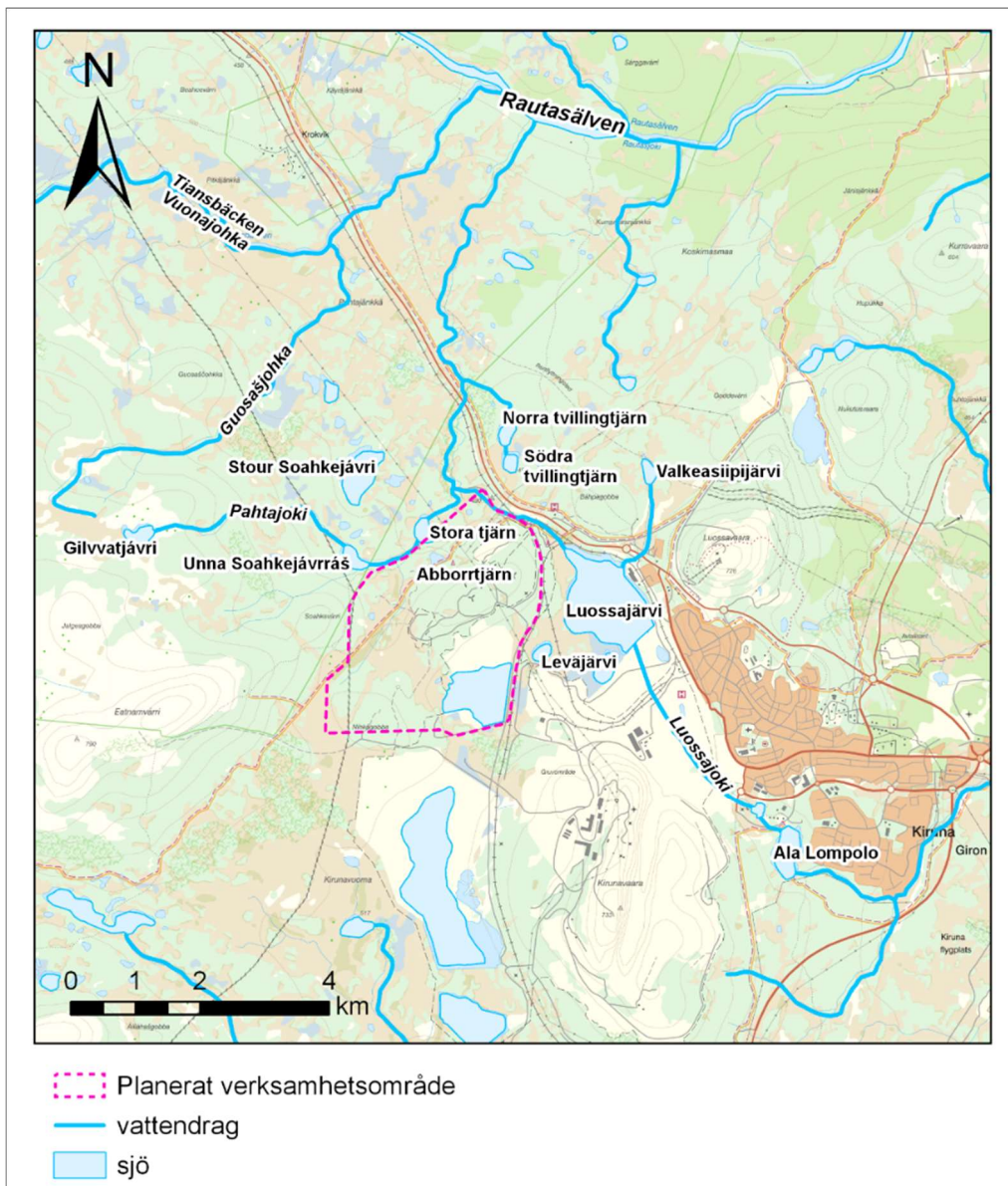
4.1.2 Vesistöt ja järvet

Suunnitellun toiminta-alueen pintavesijärjestelmä sijaitsee Tornionjoen ja Kalixjoen välisen valuma-alueen vedenjakajalla. Viscarian alue kuuluu myös kahteen osavaluma-alueeseen: Pahtajokeen ja Mettä-Rakkurijokeen (Figur 4-1). Figur 4-2 sisältää erilaiset alueella sijaitsevat vesistöt ja järvet. Toiminta-alueen pohjoispuolella alueen ohittaa Pahtajoki, joka virtaa rautatien ja E10-tien alitse kosteikon kautta pohjoisen suuntaan Rautasjokeen, joka puolestaan laskee Tornionjokeen. Pahtajoen lähdevirtaama muodostuu alueen puroista. Alueen eteläisten osien vedet valuvat luonnollisesti Kiirunavuoman kosteikon kautta Rakkuri-järjestelmään, Mettä-Rakkurijokeen, Rakkurijärveen ja Rakkurijokeen, joka laskee edelleen Kalixjokeen. Itse kaivos ja nykyinen pohjoinen hylkykivivarasto valuttavat vetensä kohti Luossajärveä ja Tvillingtjärn-järviä, joista valuma puolestaan tapahtuu kohti Pahtajokea, Rautasjokea ja sitten Tornionjokea. Rikastushiekka-allas ja selkeytysallas sijaitsevat Kalixjoen valuma-alueella, mutta ihmisen aiheuttaman veden ohjautumisen vuoksi valuma näiltä alueilta suuntautuu kohti Levijärveä ja edelleen Luossajärveä, jonka valuma puolestaan suuntautuu Tornionjoen valuma-alueella sijaitsevaan Pahtajoen vesijärjestelmään. Alueen kosteikkojen sisällä on pienehköjä järviä ja soita, joita purot usein yhdistävät.

Luossajärvi sijaitsee Luossajoen valuma-alueella ja on padottu ja ojitettu moninkertaisilla patorungoilla Kiirunavaaran kaivoksesta tapahtuvan imeytymisen vähentämiseksi. Järven veteen vaikuttaa myös jälkihoidetun Viscarian kaivoksen patojärjestelmä. Osa LKAB:n rikastushiekka-altaasta tulevasta vuotovedestä johdetaan järveen. Luossajärven vedenkorkeutta säännellään järven pohjoisosassa sijaitsevalla säädettävällä putkella. Yksityiskohdat järven sääntelystä esitetään kohdassa 6.1.3.



Kuva 4-1. Mallialueen sisäinen topografia sekä alueen järvet ja vesistöt.



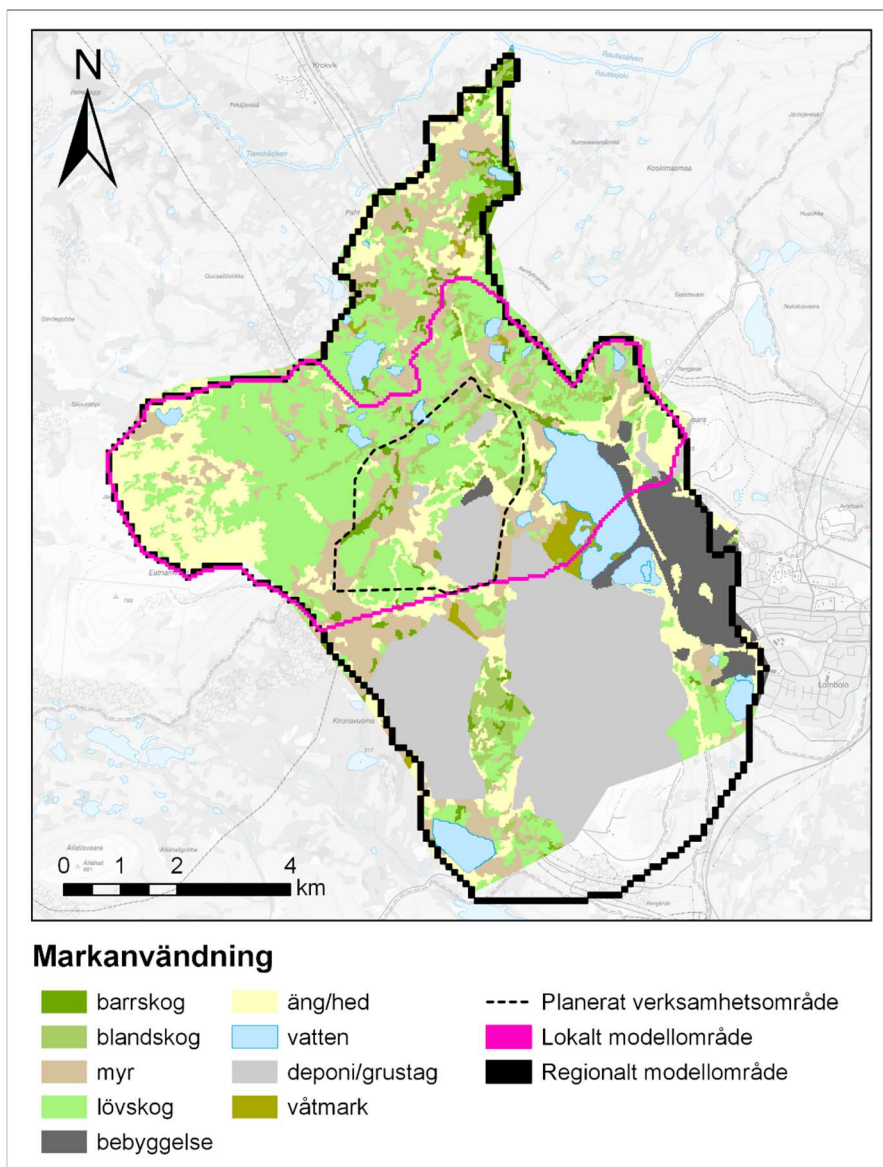
Kuva 4-2. Pintavesi-ilmentymät Kiurunassa ja Viscarian alueella.

4.1.3 Maankäyttö

Mallialue sijaitsee tunturikoivumetsän hallitsemalla alueella, jolla esiintyy myös runsaasti soita (Figur 4-3). Alueelta löytyy useita järviä, joista useimmat ovat yhteydessä Pahtajokeen ja sen sivujokiin. Alueen suurin järvi on Luossajärvi, jonka pinta-ala on 2 km². Rakennetut, asuinalueet ja teollisuusalueet keskittyvät Kiurunan ympärille. Alueen maankäyttö on jaettu 9 maatyypiksi, jotka näkyvät kuvassa Figur 4-3: havumetsä, sekametsä, suo, kosteikko, niitty/kangas, vesi, rakennelma ja kaatopaikka/soranotto. Maatyyppien välinen prosentuaalinen jakauma esitetään taulukossa Tabell 4-1. Maankäytön tiedot on saatu Ruotsin maanmittauslaitoksen kiinteistökartasta (maa-alueiden kerrokset). Pohja ei kuitenkaan kattanut koko alueellista mallialuetta, minkä vuoksi tietoja on ekstrapoloitu tyhjälle alueelle kuvassa Figur 4-3.

Taulukko 4-1. Maankäyttö alueellisella mallialueella.

Maatyyppi	Mallialueen sisällä oleva pinta-ala (km ²)	% pinta-alasta
Lehtimetsä	20,54	26%
Kaatopaikka/soranotto	17,42	22%
Niitty/kangas	13,63	17%
Suo	11,47	15%
Vesi	4,86	6%
Asutus	4,42	6%
Sekametsä	3,68	5%
Havumetsä	1,94	2%
Kosteikko	0,84	1%



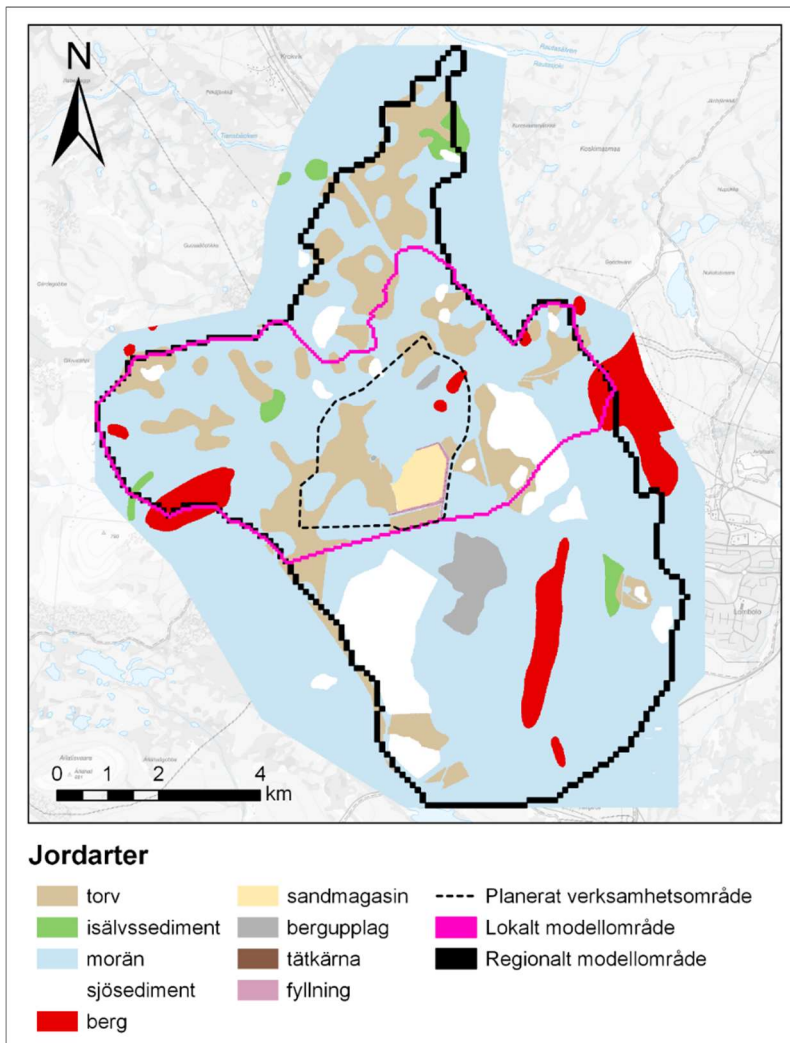
Kuva 4-3. Maankäyttö mallialueella.

4.1.4 Maaperän geologia

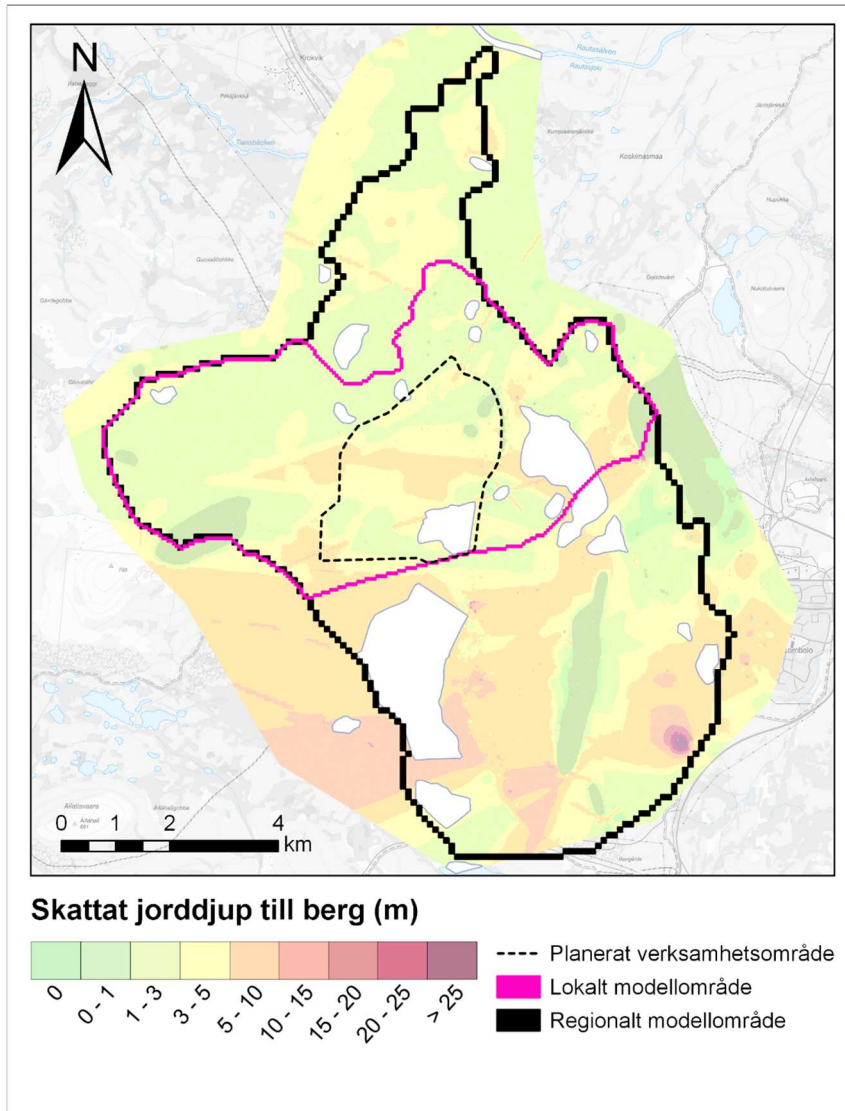
Alueen maaperää hallitsee moreeni, ja alueella on alangoilla sijaitsevia turvemaita ja tuntureilla paljasta kalliota. Löytyy myös pienehköjä alueita, joilla on jäävirtojen muodostamia sedimenttejä. Turvemaat muodostavat 25% pinta-alasta, ovat 1–3 metrin paksuisia (Mark & Miljö Hydrosense 2011a) ja niiden alla on moreenia. Peuravaaran eteläpuolella on aiemmin käytössä ollut rikastushiekka-allas ja LKAB:n kaivosalueen ympärille on rakennettu rikastushiekka-allas sekä louhimisen tuloksena syntynyt täytemateriaalialue. Alueen maalajit on jaettu yhdeksään luokkaan (Figur 4-4): turve, jäävirtojen muodostama sedimentti, moreeni, järvisedimentti, paljas kallio, rikastushiekka-allas, kivivarasto, tiivis ydin ja täytemaa. Kuvan Figur 4-4 kartta perustuu SGU:n maaperäkartaan sekä päivitettyihin tietoihin alueen ilmakuvista, joissa alueella käynnissä olevan kaivostoiminnan seurauksena tehdyt maaperän muutokset on otettu huomioon. Ennen kaikkea turvealueiden laajuus eroaa SGU:n maaperätyyppikartassa ja kuvan Figur 4-4 esittämässä kartassa.

Maaperän syvyys vaihtelee ohuista maaperäkerroksista olemattomiin, joissa paljas kallio tulee näkyviin noin 10 metriä paksuina kerroksina alangoilla (Figur 4-5). Keskisyyvyys ylängöillä on 4–6 metriä ja alangoilla 6–8 metriä.

Alueen yleiseksi kerrostumien järjestykseksi on oletettu, että turve-, täyte- ja järvisedimentit ovat moreenin alla, kun taas jäävirtojen muodostamat sedimentit ovat suoraan kalliolla.



Kuva 4-4. Mallialueen maaperätyypit SGU:n maaperätyyppikartan ja ilmakuvien perusteella tehtyjen tulkintojen perusteella.



Kuva 4-5. Mallialueen maansyvytydet Petronen (2021) mukaan.

4.1.5 Kallioperän geologia

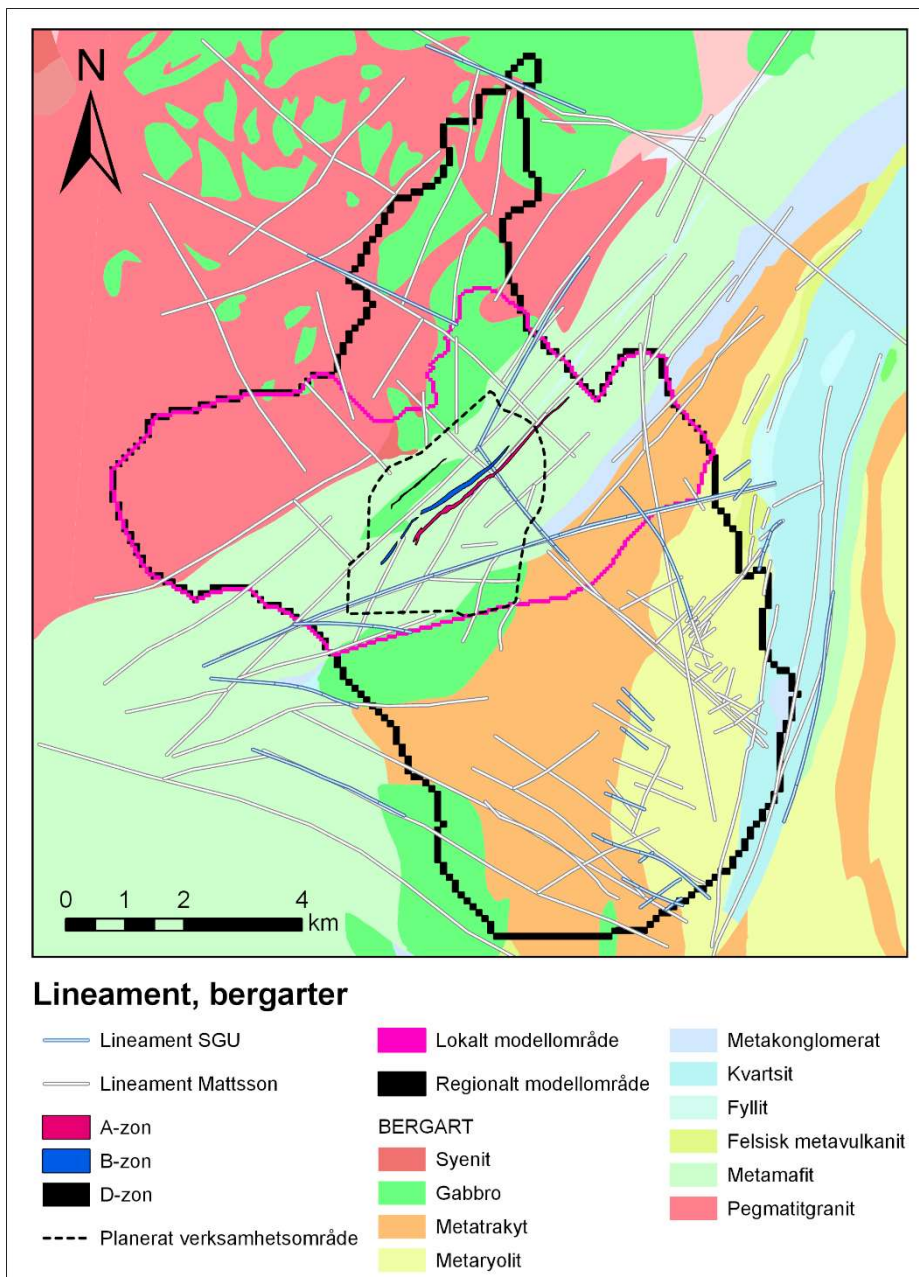
Alueen kallioperää hallitsevat vulkaaniset ja sedimenttikivet sekä alueen luoteisosasta löytyvät intrusiiviset magmakivilajit (Figur 4-6). Sedimenttien ja vulkaniittien sekvenssi on 8–10 km:n paksuinen. Viscarian malmi sijaitsee Viscaria-muodostelman vulkanoklastisissa kivilajeissa ja on liittynään grafiittiliuskeeseen ja mafisiin vulkaanisiin kiviin. Viscarian mineralisaatio on jaettu A-, B- ja D-vyöhykkeisiin magnetiitti- ja sulfidipitoisuuden osalta sekä C-vyöhykkeeseen, joka koostuu mineralisoitumattomasta mustaliuskeesta (Martinsson 1997).

Pintapeittotiedoissa ilmaistuja lineaarisia rakenteita, kuten geofysikaalisia tietoja tai topografiaa, kutsutaan lineamenteiksi. Nämä lineaariset rakenteet voivat aiheutua deformaatiovyöhykkeistä, kallioperän kosketuksista, juonikivilajeista tai maanpeitteen muodoista, kuten moreenimuodoista. Veden virtaus matalahuokoisessa (<1%) kiteisessä kallioperässä tapahtuu suurelta osin halkeamissa tai deformaatiovyöhykkeissä, eli kaikki

lineamentit eivät ole vettä kuljettavia rakenteita. Kalliossa olevat suuremmat/pidemmät vyöhykkeet synnyttävät usein lineaarisia kuvioita, jotka voidaan tunnistaa geofysikaalisista ja topografisista tiedoista. Viscarian alueelle Mattsson (2020) on laatinut lineamentin tulkinnan tavoitteenaan tunnistaa, paikantaa ja osittain karakterisoida kyseisen alueen lineamentteja.

Suurin osa alueen lineamenteista on suuntautunut koilliseen-lounaaseen, pohjoiskoilliseen-etelälounaiseen tai luoteeseen-kaakkoon (Figur 4-6), mutta lineamentteja on myös suunnissa itäkoillinen-länsilounas ja länsiluode-itäkoillinen sekä lisäksi joitakin harvoja lineamentteja suunnassa itä-länsi ja pohjoinen-etelä (Mattsson 2020).

Prattin (2020) esittämän geologisen tiedon, mukaan lukien muut aikaisemmat tutkimukset (Gray 2015; Oliver 2017), perusteella näyttää todennäköiseltä, että alueellisten rakenteiden kanssa yhdensuuntaisista linjoista muodostuvat suuret hauraat vyöhykkeet/rakenteet, eli mahdolliset vettä kuljettavat vyöhykkeet koillinen-lounas (pohjoiskoillinen-eteläluode) - suunnassa tai koillis-lounais-suuntaiset lineamentit ylittävät alueellisen kuvion (Mattsson 2020). Jotta saataisiin tietoa yksittäisten rakenteiden hydraulisesta luonteesta, lineamentin tulkintaa on täydennettävä esim. ydinkartoituksella ja geofysikaalisilla ja hydrogeologisilla mittauksilla, jotta pystytään arvioimaan, mitä hydraulisia ominaisuuksia rakenteessa todellisuudessa on. Viscarian alueella tämäntyyppistä liittyvää tietoa esiintyy harvoin.



Kuva 4-6. Kallioperäkarta, jonka päälle on tulkittu lineamentteja mallialueella, jossa vaaleansiniset lineamentit edustavat SGU:n tulkitsemia lineamentteja ja valkoiset lineamentit Mattssonin et al., 2010 ja Mattssonin, 2020 tulkitsemia lineamentteja.

4.1.6 Kallion ja maaperän hydrauliset ominaisuudet

Pohjavesiolosuhteiden tutkimuksia Viscarian alueella ja Kiirunan maanalaisen kaivoksen (KUJ) ympäristössä on tehty useilla eri kierroksilla suhteellisen pitkän ajan kuluessa. Suuri osa näistä on analysoitu ja sisällytetty eri tavoin pohjatiedoiksi muun muassa tässä raportissa kuvattujen laskentamallien käsitteellistämiseksi ja parametroimiseksi. Tätä kuvataan tarkemmin käsitteellisessä mallissa (luku 5).

Porausreilistä saatuun näyttöön perustuvien ominaisuuksien voidaan sanoa muodostavan pistemittauksia parametreista, joiden tiedetään ilmaisevan suurta paikallista vaihtelua. Porausreikien hydraulista informaatiota käytetään siis melko yleisellä tavalla laskennallisten mallien eri osiin (rakkovyöhykkeisiin, ehjempään kallioon, malmivyöhykkeisiin jne.) liittyvien

hydraulisten ominaisuuksien osoittamiseksi. Tarkoituksena on saada aikaan paras mahdollinen perusmalli myöhempiä herkkyysoanalyyskejä varten ja loppujen lopuksi konservatiivisten ympäristövaikutusten ennusteiden tuottamiseen.

Tämän osion tarkoituksena on tehdä lyhyt yhteenveto tutkimuksista, joita on jollain tavoin käytetty tässä raportissa.

Suhteellisen laajoja hydrogeologisia tutkimuksia Viscarian alueen kallioperästä tehtiin vuonna 2010 (Mark & Miljö Hydrosense 2011b). Tutkimukset käsittivät pumppukokeita porareii'issä useilla osa-alueilla Viscarian alueella ja samanaikaisia havaintoja muissa porareii'issä sekä pohjaveden pinnan mittauksia alueella. Tutkimukset tuottivat kallioperästä transmissiviteetin arvoja 1×10^{-5} – 3×10^{-4} m²/s. Korkeimmat arvot löytyivät ennen kaikkea D-vyöhykkeeltä. Lisäksi tutkimuksilla voitiin mm. osoittaa suurempaa läpäisevyyttä D-vyöhykkeellä kuin ympäröivissä kallioissa.

Kallioperän vedenkuljetuskykyä suuremmissa syvyyksissä testattiin vuonna 2016 kolmessa olemassa olevassa näyteporausreiässä (Golder Associates 2016) D-vyöhykkeen läheisyydessä. Tutkimukset tehtiin ns. porausreiän manseteilla, joita käytetään yhden tai usean porausreiän osan rajaamiseen. Mittausten syvyys vaihteli eri porausrei'issä. Suurin koesyvyys ulottui noin 600 metriin. Arvioiduista porausreiän osista saatiin suuria vaihteluita (noin neljä kertaluokkaa) transmissiivisuudessa (tässä tapauksessa ominaiskapasiteetissa), mikä odotetusti merkitsee suuria alueellisia vaihteluita yleisessä kallion läpäisevyydessä. Kokonaistransmissiviteetin koko reikien suhteen vaihteli välillä 6×10^{-6} ja 4×10^{-5} m²/s.

Hydrauliset testit tehtiin valikoiduissa olemassa olevissa vasaraporareii'issä talven 2020/2021 aikana (Geosigma 2021). Reiät valittiin niin, että aikaansaatiin hyvä maantieteellinen hajonta olemassa olevissa rei'issä ja täydennykseksi aiemmin kuvatussa vuonna 2010 tehdyssä tutkimuksessa (Mark & Miljö Hydrosense 2011b) testattuihin reikiin. Testatut porausreiät porattiin enimmillään hieman yli 100 metrin syvyyteen. Kolmessa neljästä testatusta porausreiästä tehtiin ns. virtausmittaus, joka merkitsee, että on mahdollista määrittää, miten porausreiän kokonaisvedensiirtokyky jakautuu reiän pituuden suhteen. Transmissiivisuuden arvioidut arvot vaihtelivat noin 5×10^{-5} ja 6×10^{-4} m²/s välillä. Kahdessa testatussa vasaraporareii'ässä pohjavesiputket asennettiin maahan suhteellisen lyhyen matkan päähän. Porareii'issä tapahtuneen pumppauksen aikana pohjaveden taso maaputkissa kirjattiin, mutta pohjaveden pinnankorkeuden muutosta maaputkissa ei havaittu.

LKAB:n KUJ:n ympäristössä vuosina 2011/2012 tekemien hydrogeologisten tutkimusten puitteissa kaivoksen ympäristöön tehtiin suuri määrä vasaraporausreikiä, joiden tarkoituksena on karakterisoida kallion vedenkuljetuskykyä ja pohjaveden korkeuden pitkäaikaisseurantaa (Geosigma/ Intera 2013). Yksi näistä porausrei'istä sijaitsee Viscarian alueella A-vyöhykkeen itäpuolella. Näiden tutkimusten perusteella saatuja tuloksia on käytetty tässä raportissa laajentamaan pohjatietojen määrää kallioperän läpäisevyydestä yleensä Kiirunan alueella sekä laajemmissa simulaatioissa, jotka kattavat KUJ:n ja sen ympäristön. Tässä yhteydessä voidaan myös mainita, että LKAB:n maaperän muodonmuutosmittaukset on sisällytetty laajamittaiseen simulaatiomalliin Geosigmassa (2018) kuvatulla tavalla.

Alueen maaperässä hallitsevina ovat moreeni ja turve. Taustatietoja vedenkuljetusominaisuuksista yleisesti Kiirunan alueen maaperätyyppien osalta löytyy useista taustaraporteista. Entinen Banverket, nykyinen Ruotsin ratavirasto (Banverket 2009) teki tutkimuksia moreenin vedenkuljetusominaisuuksista Peuravaaran eteläpuolella (Banverket 2009), ja ne on tiivistetty Hydrosensen tekemään Viscarian alueen hydrogeologiseen kuvaukseen (Mark & Miljö, Hydrosense 2011a). Nämä tutkimukset osoittavat moreenin yleiseksi ominaisuudeksi heterogeenisyyden: hydraulisen johtavuuden alueen (K) on ilmoitettu olevan välillä 3×10^{-7} ja 9×10^{-6} m/s.

Vuonna 2012 tehtiin suuri määrä pohjavesiputkien hydraulisia testejä KUJ:n itäpuolella Alalompolojärven ympärillä (Geosigma/Intera 2013). Nämä putket eivät sijaitse suoraan

Viscarian alueen vieressä, mutta ne antavat lisäosoituksen ennen kaikkea moreenin läpäisevyydestä ja sen vaihtelusta.

Koeporaukset ja pohjavesiputkien asennus LKAB:n tulevalle sivukiven kaatopaikalle Viscarian alueesta lounaaseen (Sweco 2016) antoi lisätietoa maakerrosten läpäisevyydestä. Viisi pohjavesiputkea asennettiin: moreenin hydraulinen johtavuus antoi melko alhaisia arvoja lukuun ottamatta yhtä putkea, jonka laskettu johtavuus oli 1×10^{-5} m/s. Myös turpeen läpäisevyydeksi raportoitiin $5 - 7 \times 10^{-7}$ m/s.

4.1.7 Nykyiset kaivokset ja avolouhokset

Viscarian alueella on tällä hetkellä maanalainen kaivos edellisen kaivostoiminnan ajoilta, ja välittömästi toiminta-alueen vieressä on LKAB:n kaivosalue, jossa LKAB louhii rautamalmia maanalaisena Kiirunavaaran kaivoksessa.

4.1.7.1 Viscaria

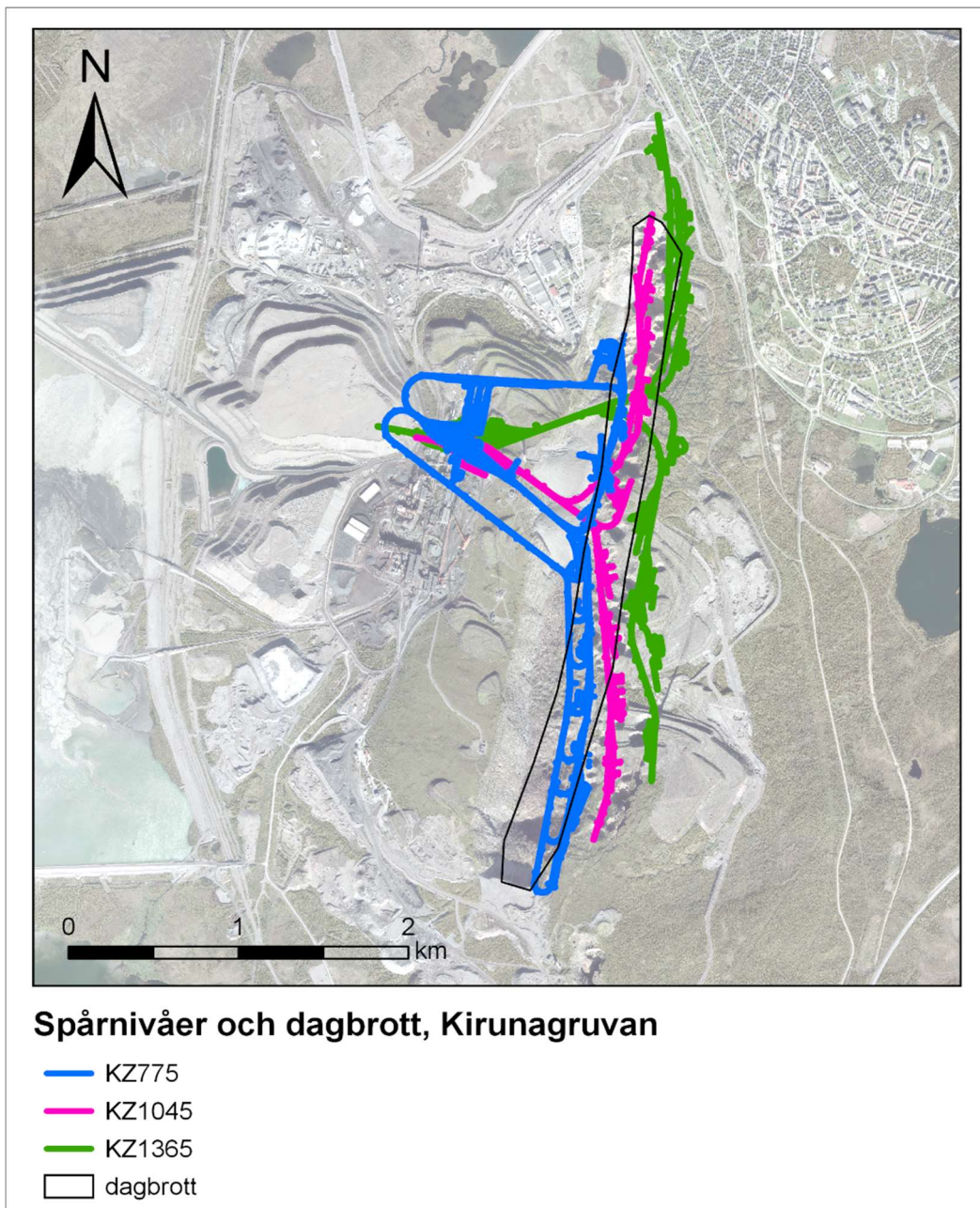
Kaikki maanpäälliset rakennukset on purettu ja alue on pääosin jälkihoidettu aikaisemman kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen. Toiminnan jälkeinen hylkykivivarasto, rikastushiekka-allas ja selkeytysallas ovat jäljellä selkeinä muodostumina maisemassa (Figur 1-1). Nykyinen maanalainen kaivos sijaitsee AB-vyöhykkeellä, yltää noin 700 metrin syvyyteen ja on jaettu kahteen osaan: pohjoiseen ja eteläiseen alaskäyntiin (Figur 1-1). Maanalainen kaivos on tällä hetkellä täynnä vettä samoin kuin pohjoista alaskäyntiä kohti romahtanut leikkaus, jossa on vapaa vedenpinta, jonka arvioidaan olevan noin 510 m merenpinnan yläpuolella.

Louhittu kokonaismäärä, mukaan lukien käytävät, kuilut ja rampit, on noin 6,4 miljoonaa m³ (Liite A), ja kaivoksen sulkemisen jälkeen vuonna 1997 maanalaisen kaivoksen täyttymiseen kului 6,5 vuotta. Kaivoksen käyttöään lopussa vettä nostettiin 150–200m³/h kaivoksesta (Mark & Miljö Hydrosense 2011a).

Nykyisessä hylkykivivarastossa on irtonaista kiveä noin 3,4 miljoonaa tonnia ja rikastushiekka-altaassa noin 13,7 miljoonaa tonnia rikastushiekkaa.

4.1.7.2 Kiirunavaaran kaivos

Alueellisessa MIKE SHE -mallissa Kiirunavaaran kaivos kuvataan yleisluonteisesti. Mallissa on kuvattu kolme juonnekerrosta eli tasoa, joissa on suuria purkamaton malmia sisältäviä tiloja, 775, 1 045 ja 1 365 m syvyydessä, ja mukaan on liitetty myös avolouhoksen laajuus ja geometria, Figur 4-7. Sisään vuotavaa pohjavettä pumpataan kaivoksesta sen poistamiseksi ja pumppaus tapahtuu kaivoksen alimmista osista alkavan pumppuketjun kautta. Osa pumppuketjussa olevasta vedestä ohjataan pois ja käytetään kaivostoiminnassa. Alueellisen mallin kalibroinnissa on käytetty kaivoksesta tosiasiallisesti pumpatun ja poistuvan veden virtaustietoja. Kaivoksesta poistuvan veden määrä vaihtelee vuoden aikana. Kauden 2013–2016 aikana kaivoksesta tosiasiallisesti poistuvan veden kokonaissyöttömäärä vaihteli n. 14–17 m³/min (Geosigma 2017).



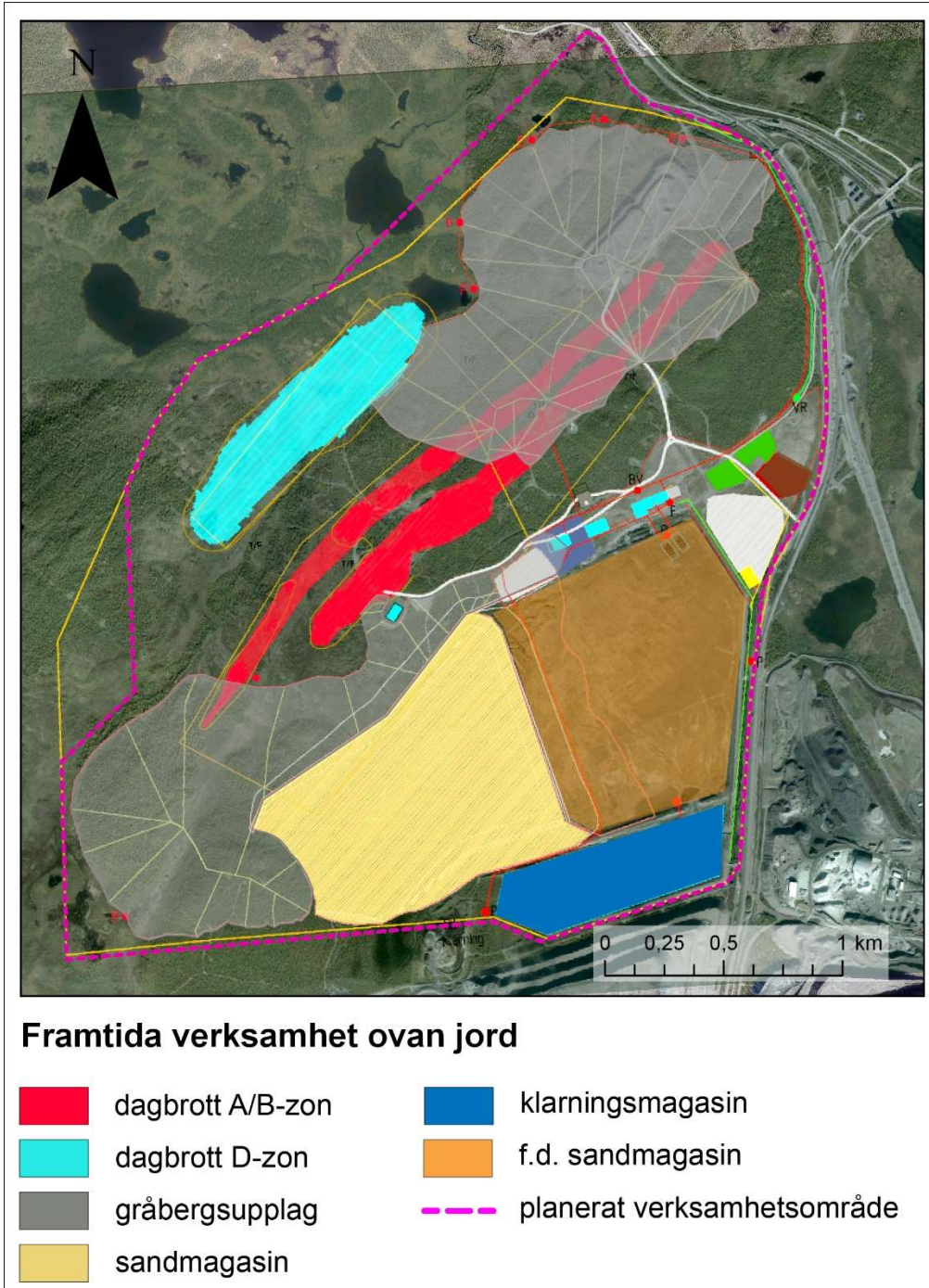
Kuva 4-7. Kiirunavaaran kaivoksen avolouhos ja kolmen juonnekerroksen, 775, 1045 ja 1365 m, leviäminen xy-tasolle.

4.1.8 Tulevaisuuden kaivostoiminnan muuttuneet maaperän olosuhteet

Suunniteltuun kaivostoimintaan sisältyy malmin louhinta maanpinnalla A-, B- ja D-vyöhykkeillä sekä maanalainen louhinta kaikilla vyöhykkeillä (Liite A). Kaivostoiminta tulee muuttamaan olemassa olevia maaperän olosuhteita, koska turpeen ja moreenin poistaminen tietyiltä alueilta on tarpeen ennen avolouhoksen perustamista, ja A-vyöhykkeen olemassa olevan maanalaisen kaivoksen tilavuutta laajennetaan asteittain ja uusia D-vyöhykkeelle perustetaan uusia maanalaisiatiloja, kuten käytäviä, kuiluja ja tunneleita. D-vyöhykkeen maanalaisen kaivoksen on suunniteltu yltävän noin 600 metrin syvyyteen maanpinnan tasosta. Avolouhosten syvyys vaihtelee syvimmän ollessa noin 250 m (Liite A). Hylkykiven ja rikastushiekan varastointi tulee tapahtumaan varastoalueella ja rikastushiekka-altaassa. Sitä varten yritykselle perustetaan asianmukaisella kovalla maanpinnalla varustettu teollisuusalue (varastoalueet ja tiet) (Figur 4-8). Jotta voitaisiin minimoida pintaveden virtaus

laitokseen, louhinta-alueen ympärille rakennetaan ojia ja penkereitä. Käyttämällä apuna ojia vesi johdetaan ympäröiviin vesistöihin, mikä puolestaan vaikuttaa pohjaveden suodattumiseen.

Maanalaisten kaivosten ja avolouhosten leviämistä ja niiden kuvausta skenaariolaskelmissa, jotka on suoritettu kohonneiden vesimäärien ja pohjavesivaikutusten laskemiseksi kytketyn MIKE SHE-MIKE URBAN -mallin avulla, kuvataan tarkemmin kohdassa 6.2.4.



Kuva 4-8. Asettelen v 1.31:n (Liite B, kohta 2.1) mukainen maanpäällisen laitoksen tulevan kaivostoiminnan kartta.

4.2 Meteorologiset, hydrologiset ja hydrogeologiset aikasarjat

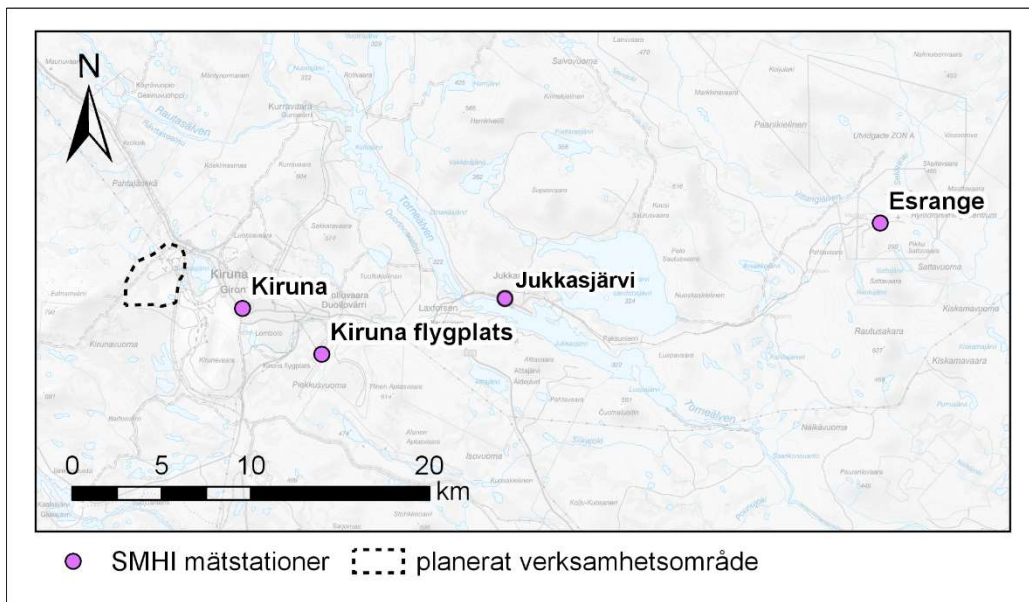
NAM, MIKE HYDRO River -malli ja MIKE SHE -malli vaativat aikasarjat sademäärästä (P), ilman lämpötilasta (T) ja potentiaalisesta haihtumisesta (PET) mallilaskelmien ajotiedoiksi. MIKE HYDRO River -mallin kalibroimiseen käytetään järvien ja purojen virtaamien ja vedenpinnan tasojen aikasarjoja. Integroidussa MIKE SHE-MIKE HYDRO River-MIKE URBAN -mallissa käytetään pintavesihavaintojen lisäksi pohjaveden pinnankorkeusmittausten tietoja ja kaivosjärjestelmään valuvaa pohjavettä koskevia havaintoja syöttötietojen muodossa. Alla kuvataan lyhyesti erilaiset tietotyypit.

4.2.1 Meteorologiset pohjatiedot

Meteorologiset tiedot sateen (P), mahdollisen haihtumisen (PET) ja ilman lämpötilan (T) muodossa on haettu SMHI:n avoimista tiedoista. Figur 4-9 näyttää, miltä asemilta tiedot on ladattu. Tabell 4-2 näyttää, miltä asemilta ja miltä jaksoilta sadetta koskevia tietoja on käytetty. Sademäärän osalta on käytetty ensi sijassa Kiirunan aseman tietoja. Aikasarjan aukkoja on täytetty Kiirunan lentoaseman sademäärätiedoilla. Mahdollisia jäljellä olevia aukkoja on sitten täytetty Esrangen ja Jukkasjärven asemien tiedoilla. Sademäärätietojen mittausrvirheitä on korjattu alla esitetyn mukaisesti. Sademäärätiedot korjataan kompensoimaan tartunta- ja haihtumishäviöitä ja sademäärää, jota mittari ei onnistu mittaamaan. Korjaus on suurempi sateen tullessa lumena, koska satamishetkellä voimakkaat tuulet vaikeuttavat usein mittaamista ja voivat aiheuttaa lumen kinostumista.

- Kerroin 1,17 ilman lämpötilan ollessa $> 0^{\circ} \text{C}$ (vesisadetta)
- Kerroin 1,33 ilman lämpötilan ollessa $< 0^{\circ} \text{C}$ (lumisadetta)

Potentiaalinen haihtuminen tarkoittaa sellaista haihtumista, jota voi tapahtua pinnalta, jos vedensaanti on optimaalista. Tässä tutkimuksessa esitetty potentiaalinen haihtuminen perustuu Kiirunan kuukausivakioarvoihin (Eriksson 1981). Lämpötilatiedot on saatu Kiirunan lentokentän tuntiarvoista.



Kuva 4-9. Kartta niistä SMHI-asemista, joilta on saatu meteorologisia tietoja.

Taulukko 4-2. Sademäärätiedot: aikajaksot ja asema.

Alkupvm	Loppupvm	Päivien määrä	Asema
1.1.1980	31.12.1993	5114	Kiirunan lentoasema
1.1.1994	30.9.1996	1004	Esrange
1.10.1996	31.8.2005	3257	Kiiruna
1.9.2005	30.9.2005	30	Esrange
1.10.2005	30.6.2010	1734	Kiiruna
1.7.2010	30.10.2016	2314	Esrange
31.10.2016	2.11.2021	1829	Jukkasjärvi
3.11.2021	21.11.2021	19	Kiiruna

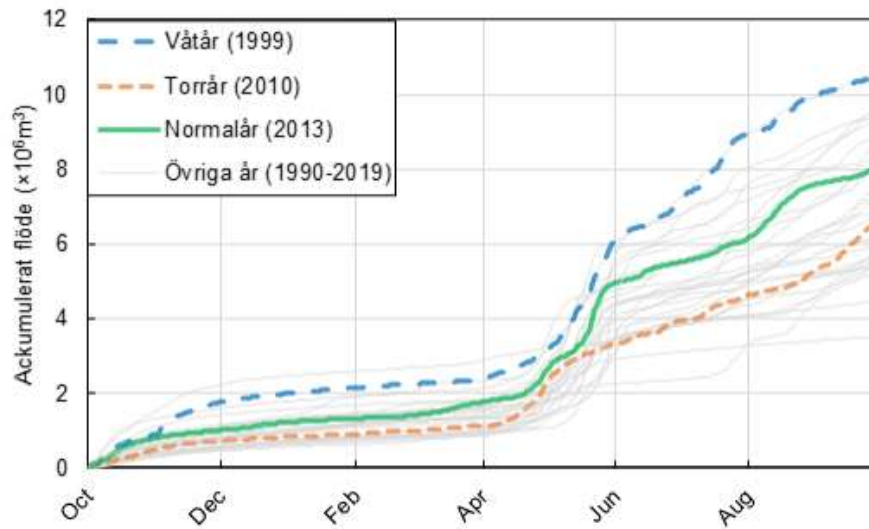
4.2.2 Hydrologisten tyypivuosien määrittely

Tässä tutkimuksessa on analysoitu tämänhetkisten ilmastonvaihteluiden vaikutusta hydrologiaan ja hydrogeologiaan. Kuivat ja kosteat kaudet vaikuttavat valumaan ja pohjaveden muodostumiseen sekä myös pohjaveden pinnan alenemiseen ja vuotamiseen kaivosjärjestelmään. Mallien kestävyuden varmistamiseksi ilmaston osalta sekä ilmaston vaikutuksen selvittämiseksi mallien tuloksiin on valittu kolme tyypivuotta. Nämä kolme tyypillistä vuotta edustavat tyylillistä kuivaa, normaali ja märkää vuotta hydrologian suhteen. Muutkin prosessit kuin sade vaikuttavat siihen, toteutuvatko vesistöissä määrät vai kuivat olosuhteet. Myös lumen määrä, lumen sulamisen intensiteetti ja "hydrologinen muisti" eli veden osuus syvemmästä pohjavesijärjestelmästä on otettava huomioon. Siksi meteorologisten vuosien sijaan on määritetty hydrologisia vuosia, jotka ottavat huomioon vain sademäärän.

Tyypivuodet on valittu päivittäisten virtaamatietojen perusteella ajanjaksolta 1.10.1990 – 30.9.2020. Kuivaksi vuodeksi määritellään vuosi, jolloin järjestykseen asetetut kumulatiiviset päivittäiset virtaamat ovat tyypillisesti 67. ja 95. persentiilin välillä, ja märäksi vuodeksi määritellään vuosi, jolloin järjestykseen asetetut kumulatiiviset päivittäiset virtaamat ovat tyypillisesti 5. ja 33. persentiilin välillä. Normaaliksi vuodeksi määritellään vuosi, jolloin järjestykseen asetetut kumulatiiviset päivittäiset virtaamat ovat tyypillisesti 33. ja 67. persentiilin välillä samalla kun ne myös sijoittuvat mahdollisimman paljon valittujen märkien ja kuivien vuosien väliin. Figur 4-10 näyttää kertyneen virtausmäärän kaikilta hydrologisilta vuosilta analysoitavana ajanjaksona. Kolme valittua tyypivuotta, jotka on merkitty värillisillä viivoilla, määritellään seuraavasti:

- Kuiva vuosi - 2010 - jolloin noin 60 % tiedoista osuu haluttujen rajojen sisään.
- Normaali vuosi - 2013 - jolloin noin 52 % tiedoista osuu haluttujen rajojen sisään.
- Märkä vuosi - 1999 - jolloin noin 85 % tiedoista osuu haluttujen rajojen sisään.

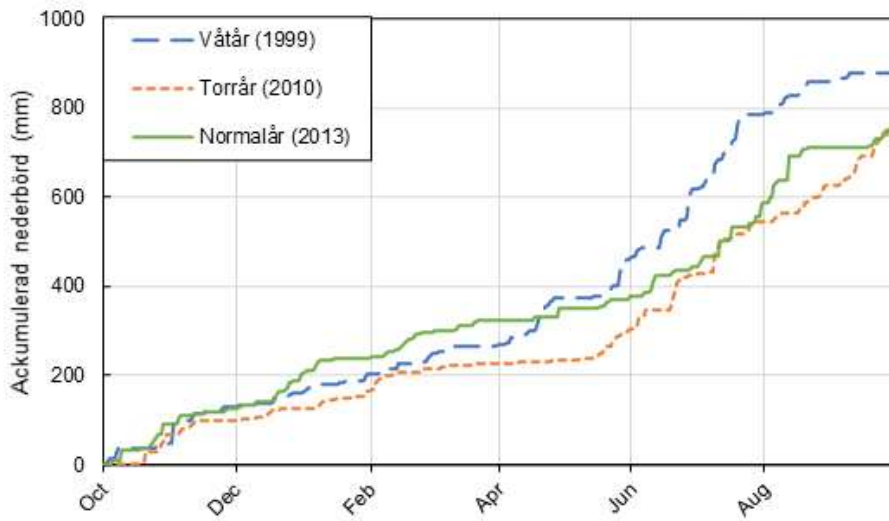
AVA14 - Ackumulerat flöde



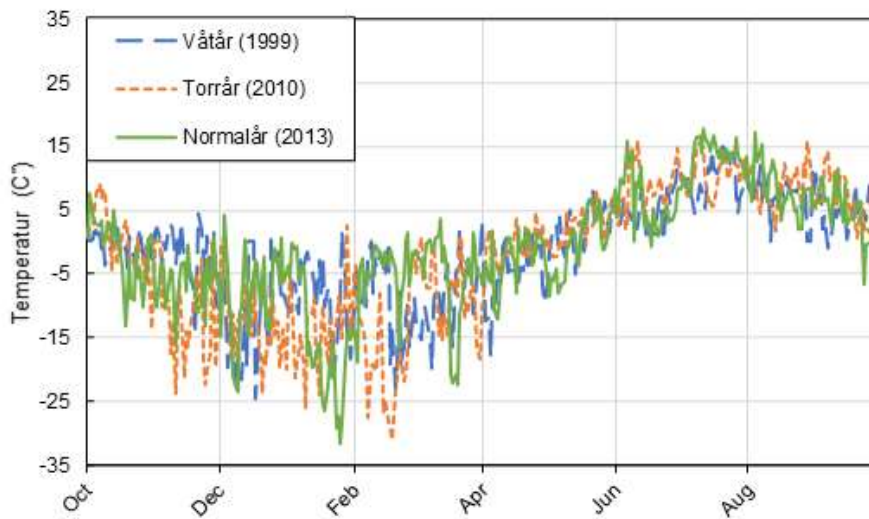
Kuva 4-10. Asemalle AVA140 mallinnettu virtaama. Graafista näkyy kertynyt virtaama ($\times 10^6 \text{m}^3$) kaikille hydrologisille vuosille (1.10.1990 – 30.9.2020). Kolme valittua tyyppivuotta on merkitty seuraavasti: kuiva vuosi = 2010 (oranssi), normaali vuosi = 2013 (vihreä) ja märkä vuosi = 1999 (sininen).

Figur 4-11a näyttää kertyneet sademäärät kolmen tyyppivuoden aikana. Vuotuinen kokonaissademäärä sateisena vuonna on n. 877 mm (sininen viiva), normaalivuonna n. 753 mm (vihreä viiva) ja kuivana vuonna noin 750 mm (oranssi viiva). Figur 4-11b näyttää kolmen tyyppivuoden lämpötilat: normaalivuosi vihreällä viivalla, märkä vuosi sinisellä ja kuiva vuosi oranssilla viivalla. Syy siihen, miksi sademäärän ero kuivien ja normaalivuosien välillä on niin pieni, johtuu siitä, että tyyppivuodet määritellään pintavesivirtaamien analyysin perusteella, joihin puolestaan vaikuttaa enemmänkin usea muuttuja kuin pelkkä sademäärä.

(a) Ackumulerat nederbörd



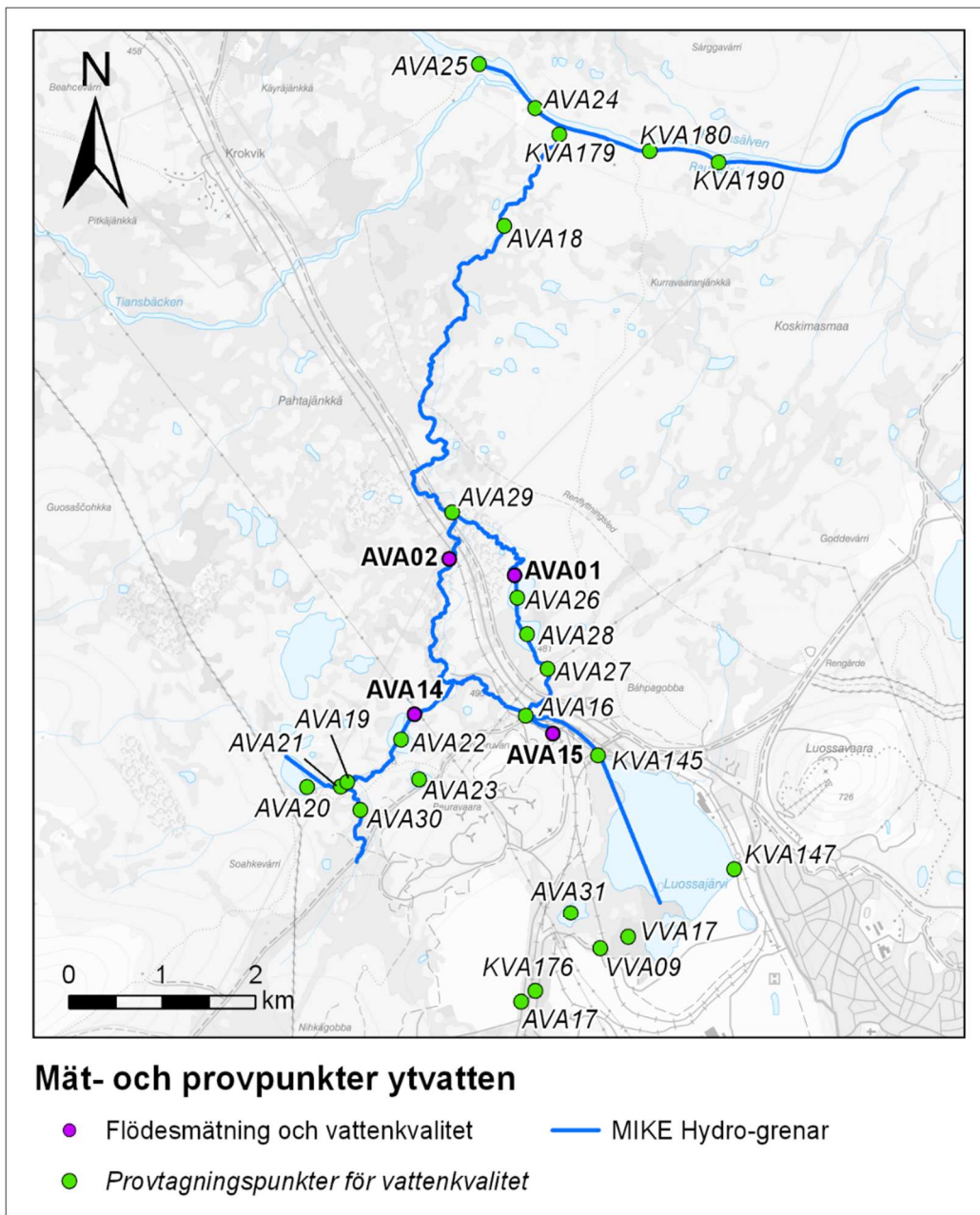
(b) Temperatur



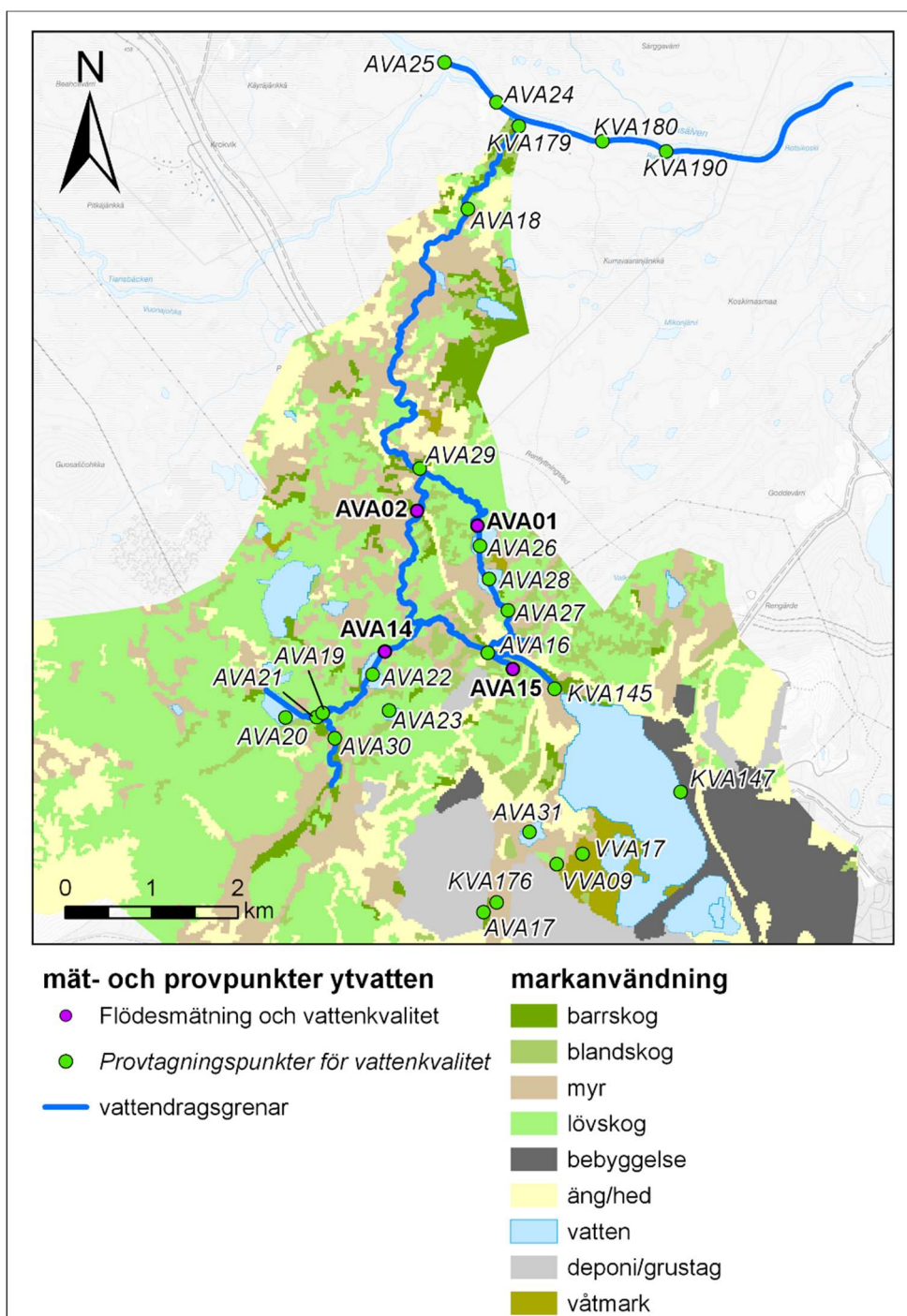
Kuva 4-11. Kolmen tyyppivuoden ilmastotiedot: kuiva vuosi (oranssi), normaalivuosi (vihreä) ja märkä vuosi (sininen). Graafista näkyvät (a) kertynyt sademäärä (mm) ja (b) lämpötila (C°)

4.2.3 Vesistöjen tasojen ja virtaamien aikasarjat

Figur 4-12 näyttää pintavesimallinnuksen yhteydessä käytettävien pintavesihavaintopisteiden sijainnit. Lilan väriset pisteet ovat havaintopisteitä, joissa sekä virtaamatiedot että veden laatutiedot olivat saatavilla numeeristen pintavesimallien kalibroinnin ja validoinnin aikana, kun taas vihreissä pisteissä on tehty vain vedenlaadun mittauksia.



Kuva 4-12. Mallinnuksen pohjana käytettyjen pintavesivirtojen ja veden laadun mittauspisteiden sijainti.



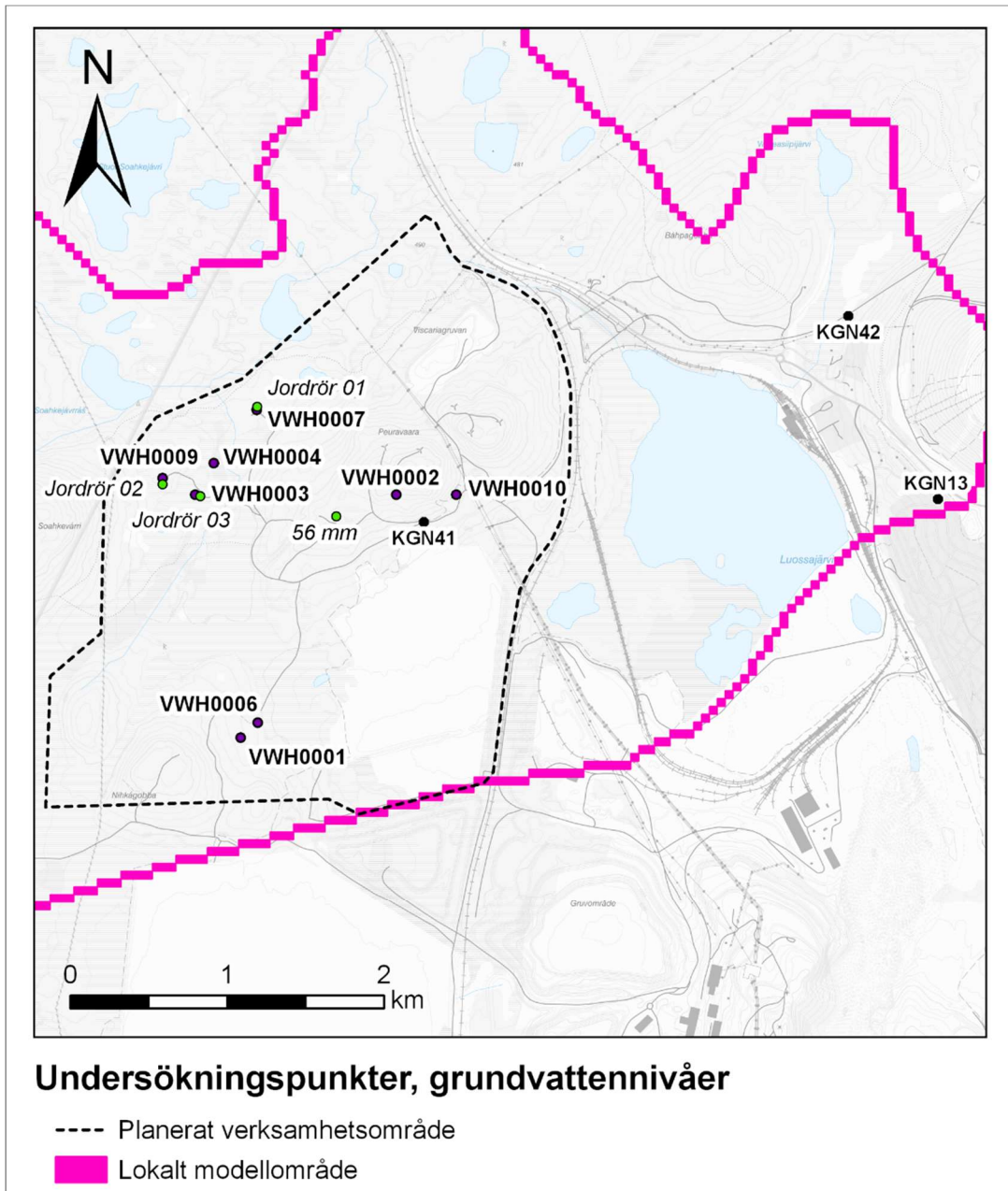
Kuva 4-13. Pintavesivirtojen ja veden laadun havaintopisteiden sijainti suhteessa maankäyttöön mallialueen sisällä.

4.2.4 Pohjaveden pinnan tasojen aikasarja maaperässä ja kalliolla

Figur 4-14 näyttää havaintopisteiden sijainnit maaperässä ja kalliolla mittausravoinen, jotka olivat käytettävissä numeeristen mallien kalibrointi- ja validointityössä. Mustat pisteet (KGN) ovat LKAB:lle (Kiirunavaaran kaivos) kuuluvia havaintopisteitä ja lilan väriset pisteet (VWH) ovat Copperstonen Viscarian kaivostoimintaa varten asentamia havaintopisteitä. Maaperässä on myös joukko pohjavesiputkia, jotka esitetään kuviossa Figur 4-14 vihreillä pisteillä.

KGN-pisteet ovat olleet olemassa ja niitä on mitattu pitempään kuin VWH-pisteitä. Sekä KGN13:sta että KGN42:sta on kirjatut mittaukset neljän tunnin arvoilla, KGN42:sta marraskuusta 2012 ja KGN13:sta lokakuusta 2013 lähtien. KGN41 on luodattu noin kahdesti vuodessa vuosina 2012–2018.

VWH-pisteistä oli vain manuaalisesti mitattuja arvoja kaudella 2020–2021. Myös maaputkille (vihreät pisteet kuviossa Figur 4-14) oli käytettävissä vain yksittäisiä luodattuja mittauservoja.



Kuva 4-14. Pohjaveden mittauksia varten tarkoitettujen havaintopisteiden sijainti. Vihreitä pisteitä ja niihin liittyvää kursivoitua tekstiä on käytetty validointiprosessissa.

5 Hydrologisen ja hydrogeologisen paikan ymmärtäminen ja käsitteellinen malli

Numeerisen mallin pohjana on käsitteellinen malli, joka muodostaa kollektiivisen tulkin paikalta saatavina olevista relevanteista tiedoista ja tuloksista. Käsitteellinen malli on laadittu tavoitteen ollessa saada yleinen käsitys siitä, mitkä ominaisuudet ja prosessit ovat oleellisia kivi-maa-vesi-järjestelmässä. Tässä tutkimuksessa myös alueen kaivokset ovat käsitteellisen mallin keskeinen osa. Käsitteellistä mallia testataan numeerisessa mallissa tekemällä kvantitatiivisia analyysejä virtauksista ja vedenpinnan tasoista.

Hydrologisissa ja hydrogeologisissa tutkimuksissa kyseisen alueen kokonaisvesitase on keskeinen osa käsitteellisen mallin laadinnassa. On tärkeää ymmärtää mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, mitkä fysikaaliset yksiköt, ominaisuudet ja hydrologiset prosessit vaikuttavat ensisijaisesti vesitaseeseen ajallisesti ja paikallisesti kyseessä olevan alueen ja ongelmatilanteen osalta. Sen jälkeen tämä ymmärrys tarjoaa pohjan analysoida, mitkä ominaisuudet ovat merkittäviä ja mihin tulisi keskittyä numeerisen mallin kalibroinnin ja herkkyysanalyysin aikana.

Sademäärä, haihtuminen, valuma ja pohjaveden muodostuminen ovat hydrologisia perusprosesseja. Luonnollisessa järjestelmässä sade voi joko haihtua, valua pintakerroksista tai pintakerroksiin tai muodostaa pohjavettä. Haihtuminen puolestaan voi tapahtua maanpinnasta, kyllästymättömillä ja kyllästyneillä vyöhykkeillä sekä transpiraation ja interception kautta. Suoraa pintavuotoa tapahtuu seurauksena maaperän suodattumiskyvyn ylittymisestä. Tämä pinnallinen valuma, joka Ruotsin metsissä ja luonnonympäristöissä usein merkitsee hyvin pientä osaa kokonaisvalumasta, noudattaa topografiaa lähimpään vesistöön/järveen tai maaston matalaan kohtaan. Sekä pohjavedestä että suorasta pintavalumasta vesistöjen kautta vettä saavien vesistöjen kautta alueelta valuu lisää vettä. Se osa sateesta, joka ei haihtu tai valu pois vesistön pintaa pitkin, suodattuu maahan. Kyllästymättömältä vyöhykkeeltä vesi voi tihkua alas ja muodostaa pohjavettä. Siksi on tärkeää saada mahdollisimman tarkka ja yksityiskohtainen kuvaus vallitsevista topografisista olosuhteista. Tämä antaa hyvät edellytykset saada mahdollisimman tarkka kuvaus siitä, miten sademäärä jakautuu alueella ja miten pinta- ja pohjavesi integroituvat

Tässä luvussa kuvataan paikallinen ymmärrys, joka on pohjana hydrologisen tyyppivuoden valinnalle. Tyyppivuosien tarkoituksena on kuvata eroa alueen hydrologiassa normaalivuoden, kuivan vuoden ja märän vuoden pohjalta. Luvussa kuvataan myös paikallinen ymmärrys ja käsitteellinen malli. Kokonaisuutena ajatellen käsitteellinen malli antaa käsitteellisen käsityksen koko alueesta ja sen eri osa-alueista, joissa haihtumisen, valumisen ja pohjaveden sisään- ja ulosvirtauksen välinen tasapaino kuvataan ja joissa geologiset rakenteet ja niiden ominaisuudet voidaan tunnistaa merkittäviksi kohteiksi tulevaa kalibrointia ja herkkyysanalyysiä varten.

5.1 Alueen sääolosuhteet ja yleinen vesitase

Alueen korjattu normaalisademäärä, joka perustuu meteorologisten ja hydrologisten tietojen analyysiin ajanjaksolta 1.10.1990 – 30.9.2020, on arvioitu 753 mm:ksi/vuosi, ja se vaihtelee välillä 750 mm/vuosi tyypillisenä kuivana vuonna – 877 mm/vuosi tyypillisenä märkänä vuonna. Aikaisemmin raportoidulla korjatulla keskimääräisellä vuotuisella sademäärällä, joka perustuu edelliseen ilmastonormaalikauteen (1961–1990) alueella, on huomattavasti pienempi arvo, 582 mm/vuosi (Mark & Miljö Hydrosense 2011a). Selitys tälle erolle on osittain siinä, että käytettiin erilaisiakorjauskertoimia, toisaalta siinä, että analyysi on tehty eri ajanjaksoille ja osittain siinä, että tyyppivuosien määrittelymenetelmät ovat erilaiset. Tässä raportissa on määritelty hydrologiset, ei meteorologiset tyyppivuodet, ks. yksityiskohdat kohdasta 4.2. Syy sille, miksi hydrologiset tyyppivuodet valittiin meteorologisten sijaan, on, että ennemminkin prosessit kuin sademäärä vaikuttaa todelliseen veden saatavuuteen

tietyissä paikassa, ja tämä huomioidaan hydrologisia tyyppivuosia määriteltäessä. Kohdassa 4.2 sademäärä ja lämpötila raportoidaan eri hydrologisten vuosien osalta eli ajalta 1.10.–30.9. Hydrologisten tyyppivuosien määrittelyssä otetaan huomioon pohjavesijärjestelmän hitaat prosessit samoin kuin pintavirtaus- ja lumiprosessit. Hydrologisen merkävyyden vuotuinen sademäärä voi olla esimerkiksi sellainen, joka ei merkittävästi ylitä normaalin vuoden vuotuista sademäärää. Jos suuri osa sateesta tulee talvikuukausina ja jos kaikki lumi sulaa lyhyen ja intensiivisen ajanjakson aikana, jakso voidaan kuitenkin luokitella märeksi vuodeksi.

Alueen meteorologisia ja hydrologisia tietoja analysoitaessa kokonaisvesitase on arvioitu seuraavasti:

- Vuosittainen keskimääräinen sademäärä: 753 mm
- Luonnollinen valuma vesistöistä: 426 mm/vuosi. Tämä on laskettu Pahtajoen järjestelmässä vuoden 2018 havainnoista 20.4.2018–19.4.2020. S-HYPE-mallinnustyökalulla lasketun SMHI:n ominaisvirtaaman vuotuinen valuma on 399–439 mm, mikä sopii hyvin yhteen Pahtajoen järjestelmän paikallisten havaintojen kanssa.
- Potentiaalinen haihtuminen on normaalivuonna 423 mm/vuosi.
- Todellinen kokonaishaihtuminen: 327 mm/vuosi. Laskettu erona vuosittaisen keskimääräisen sademäärän ja luonnollisen valuman erona, jolloin valuman ja sademäärän suhteeksi saadaan 0,57.

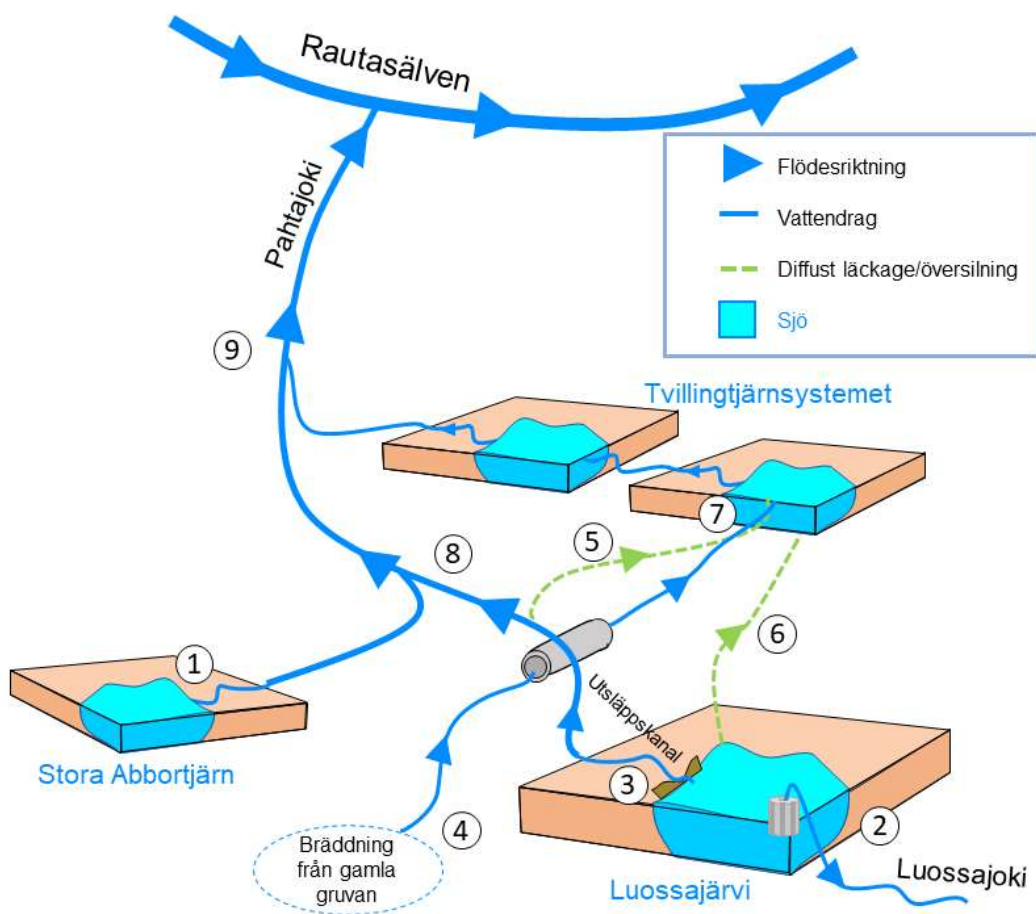
Aikaisemmin raportoitu Viscarian alueen vesitase (Mark & Miljö Hydrosense 2011a) osoittaa ominaisvaluman olevan 374 mm/vuosi, mikä antaa R/P-suhteeksi 0,64. Tässä tutkimuksessa arvioidulla kokonaisvesitaseella on siis hieman pienempi R/P-suhde kuin mitä Mark & Miljö Hydrosense (2011a) raportoi. Tämä johtuu siitä, että valuman arvioinnissa ja analysoinnissa käytettiin paikallista tietoa, jonka mukaan sateen korjauskertoimien ja tyyppivuosien määrittelyssä on käytetty meteorologisen vuoden sijasta hydrologista vuotta.

5.2 Järvet ja vesistöt

Toiminta-alueen lähistöllä olevat vesistöt koostuvat puroista, jotka yhdistävät useita pienehköjä, suhteellisen matalia järviä (Figur 5-1). Ympäröivän maan vesi johdetaan puroihin luonnollisia tai kaivettuja ojia pitkin. Luossajärveen vaikuttaa tällä hetkellä Kiirunan alueella meneillään oleva kaivostoiminta. Järvi on padottu ja huomattavasti pienempi kuin luonnollisessa muodossaan. Järvi laskee luonnostaan kaakkoon kohti Luossajokea. Tällä hetkellä vesi virtaa pois järvestä osittain luoteeseen säädellyn ylisyöksyn kautta kanavaan, joka puolestaan yhdistyy Pahtajokeen, ja osittain pumppauksen avulla Luossajokeen kaakossa. Tämä pumppausvirta on vuoden aikana noin 50 l/s. Figur 5-1 näyttää järvien ja vesistöjen käsitteellisen mallin, jota on käytetty pohjana luvuissa 8 ja 9 kuvatuille numeerisille laskelmille.

Vesikemiallisten tietojen analyysi osoittaa, että Luossajärven vesi vaikuttaa niin kutsuttuun Tvillingjärven-järvijärjestelmään. On epävarmaa, kuinka tämä vesi siirtyy Luossajärvestä Tvillingjärven-järjestelmään. Tästä syystä on tehty eri oletuksia siitä, kuinka Luossajärven vesi kulkeutuu Tvillingjärven-järjestelmään. Hypoteesina on, että diffuusio vesivuotoa tapahtuu joko pohjaveden kautta (piste 6 kuvassa Figur 5-1), pintaveden kautta purkukanavasta (piste 5 kuvassa Figur 5-1) tai molemmilla tavoilla. Näiden vaihtoehtoisten virtausreitien välinen jako ajallisesti ja paikallisesti oli mallinnustyön alussa epäselvä. Epävarmuuksia on vähennetty numeerisen mallinnuksen avulla käyttämällä iteratiivista prosessia, jolloin eri oletuksia veden kulkeutumisesta Luossajärvestä Tvillingjärven-järjestelmään on testattu ja arvioitu. Tämä on johtanut käsitteellisen mallin päivitykseen.

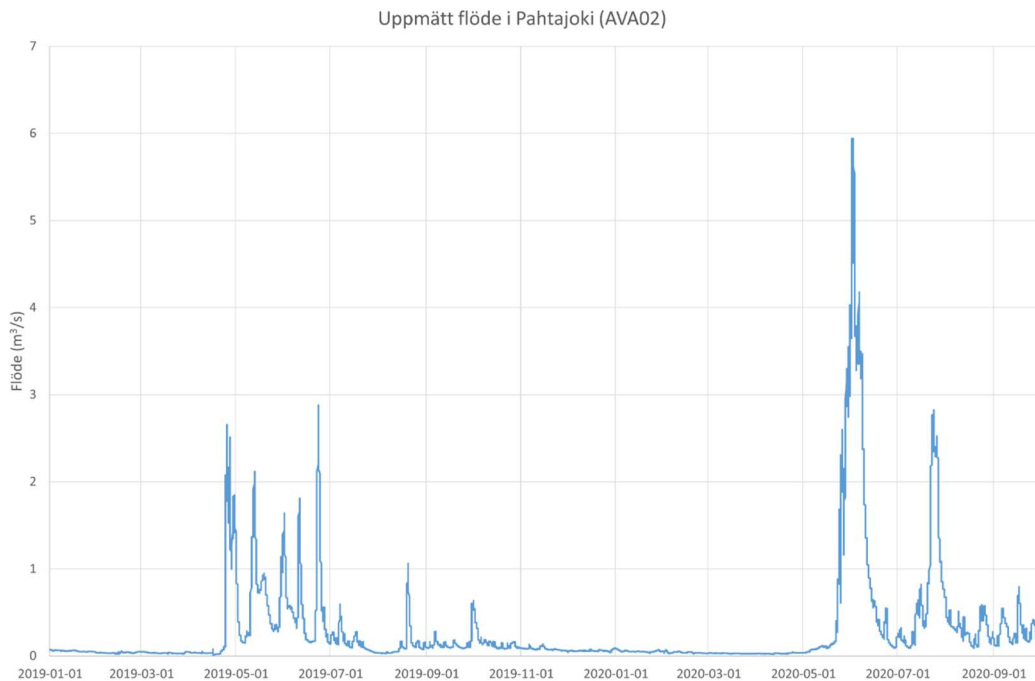
Päivitettyä käsitteellistä mallia on käytetty pohjana luvuissa 8 ja 9 kuvatun numeerisen mallin tuloksille. Käsitteellisen mallin mukaan Luossajärvestä virtaa jatkuvasti pohjavettä Tvillingtjärn-järjestelmään. Tämä veden virtaama Luossajärvestä kohti Tvillingtjärn-järjestelmää vahvistuu virtauksen ollessa suuri purkukanavassa (piste 3 kuvassa Figur 5-1), kun purkukanavan vesi tulvii läheisiin kosteikoihin sekä valuu pintaveden tai hyvin lähellä pintaa olevan pohjaveden kautta Tvillingtjärn-järjestelmään (pisteet 5 ja 6 kuvassa Figur 5-1). Tvillingtjärn-järjestelmään tulee vettä myös vanhan Viscaria-kaivoksen ylivuodosta ja ympäröivien alueiden luonnollisista virtaamista. Ylijuoksuvesi kulkeutuu Tvillingtjärn-järjestelmään putken kautta E10-tien alta eikä sekoitu muuhun purkukanavan veteen (piste 4 kuvassa Figur 5-1). Vesi poistuu Tvillingtjärn-järjestelmästä, suuresta lammesta ja Luossajärvestä Pahtajokeen (piste 9 kuvassa Figur 5-1). Matkalla järviveteen sekoittuu luonnollisia virtaamia ympäröiviltä alueilta (pinta- ja pohjavettä). Pahtajoki laskee lopulta Rautasälveen.



Kuva 5-1. Käsitteellinen pintavesimalli nykytilasta: (1) Stora Abbortjärnistä tuleva vesi. (2) Pumppuvirtaus Luossajärvestä Luossajokeen. (3) Purkukanava Luossajärvestä, (4) vanhan Viscaria-kaivoksen ylivuotovesi. (5) Ylijuoksuvesi ja pohjaveden vuoto purkukanavasta Tvillingtjärn-järjestelmään. (6) Pohjaveden vuoto Luossajärvestä Tvillingtjärn-järjestelmään. (7) Luossajärven tulokohta (8) Stora Abbortjärnistä tuleva vesi sekoittuu Luossajärven kanavan veteen. (9) Vesi pisteestä (8) sekoittuu Tvillingtjärn-järjestelmän veteen.

Alueen vesistöjen dynamiikkaan vaikuttavat voimakkaasti lumiprosessit ja routa. Suuria virtaamia esiintyy lumen sulamisen yhteydessä, erityisesti ennen roudan sulamista. Jäätynyt maa pienentää maaperän suodattumiskykyä ja pintaa pitkin valuu enemmän vettä kuin maan sulaessa (Ala-Aho ym.) 2021). Pahtajoen valuma-alueelta ei ole paikallista tietoa maaperän lämpötilasta, mutta virtaamien aikasarjoja tutkimalla voidaan todeta, että suurimmat virtaamat esiintyvät lumen sulamisajan alkuvaiheissa eli aikana, jolloin

ympäröivät turvemaat ovat vielä jäässä, Figur 5-2. Roudan vaikutusta nopeisiin ja suuriin virtaamiin turvevaltaisilla alueilla on tutkittu julkaisussa Jutebring Sterte et al., (2018), jossa osoitetaan, että pinnan läheisen valuman osuus ennen roudan sulamista on suhteellisesti suurempi turvevaltaisilla alueilla kuin moreenin hallitsemilla mailla. Pahtajoen valuma-alueella on suhteellisen suuri turpeen ja kosteikkojen osuus, mikä viittaa nopeaan ja pinnalliseen valumaan näiltä alueilta lumen sulamisen alkuvaiheessa.



Kuva 5-2. Virtaaman huiput Pahtajoessa lumen sulamisen aikaan, kun maassa on vielä routaa.

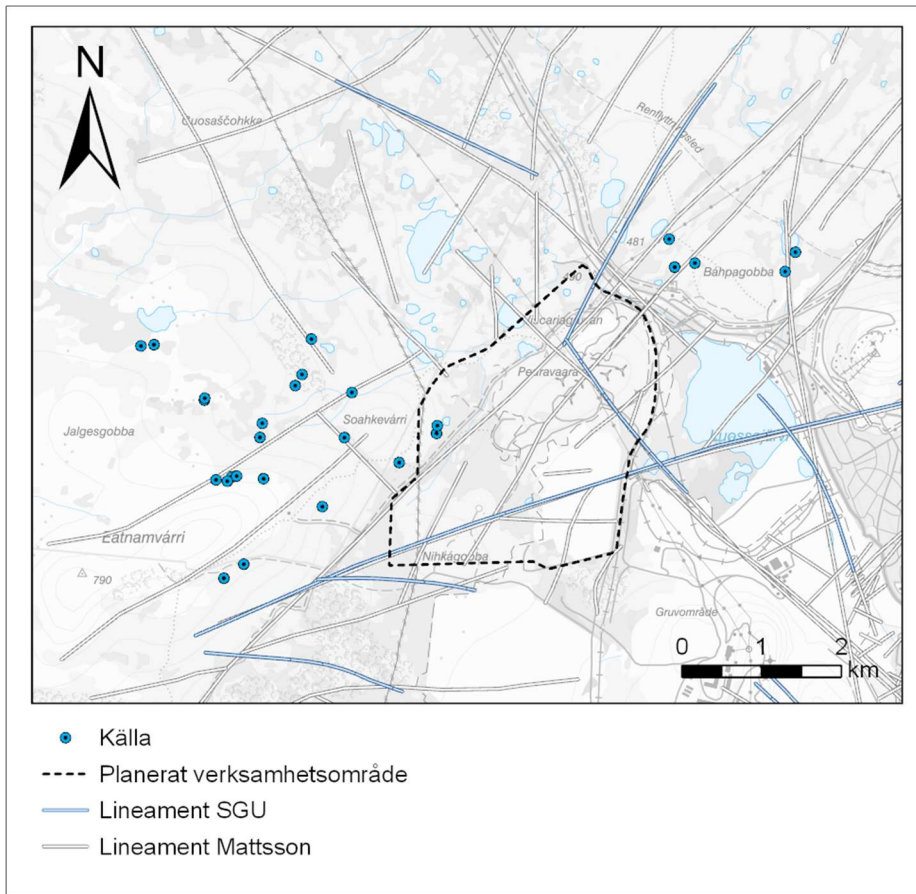
5.3 Pohjavesi

Alueen järvisedimenttien oletetaan olevan tiheitä ja pinta- ja pohjaveden kosketuksen alueen järvissä oletetaan siksi olevan rajallinen. Tämä Alalompolon ja sen ympäristön mittauksiin perustuva oletus (Geosigma 2013) pätee myös Luossajärveen. Alueen maaperässä hallitsevina maakerroksina ovat moreeni ja turve. Turve on moreenin alla ja turpeella on yleensä suurempi vedenläpäisevyys kuin alla olevalla moreenilla. Turpeella Viscarian kaivoksen ja Kiirunavaaran kaivoksen välisellä alueella tehdyt CRS-testit (Sweco 2016) osoittavat turpeella vaakasuuntaista vedenjohtavuutta suuruusluokaltaan 6×10^{-7} m/s, kun taas pystysuora vedenjohtavuus arvioitiin 2–5 kertaa pienemmäksi. Sama tutkimus pohjana olevasta moreenista osoitti hydraulisen johtavuuden olevan 5×10^{-8} m/s, mikä on moreenin vedenläpäisevyydelle suhteellisen alhainen arvo. Tehdyt tutkimukset osoittavat kuitenkin, että moreeni on heterogeeninen ja sen vedenläpäisevyys voi vaihdella paikallisesti useita suuruusluokkia (Mark & Miljö Hydrosense 2011a ja 2011b). Aikaisemmin lähialueella tehtyjen tutkimusten perusteella näyttää siltä, että turpeen alta löytyneen syvemmän moreenin vedenläpäisevyys on yleensä pienempi kuin pinnallisemman ja paikoin myös hiekkapitoisemman moreenin (Sweco 2016). Alueella on siksi oletettu moreenin vedenläpäisevyyden syvyyden pienenemistä. Koska syvemmällä sijaitseva moreeni on suhteellisen tiheää, myös maaperän ja kallion välisen kosketuksen oletetaan olevan rajallinen. Tätä olettamusta tukevat tulokset vuonna 2021 tehdyistä koepumppauksista, jotka eivät osoittaneet mitään vastetta maakerroksissa tehtäessä pumppausta alla olevaan kallioon (Geosigma 2021). Maaperän ja kallion väliseen kosketukseen vaikuttaa myös se, missä suurempia rakoalueita tulee näkyviin ja mitä paikallisia ominaisuuksia maakerroksilla näillä alueilla on. Maaperän ja kallion siirtymän ominaisuudet ovat olennaisiatulevaisuuden

kaivostoiminnan vaikutusten arvioinnissa, ja numeerisen mallinnuksen herkkyyssanalyyseissä keskeisiä ovat analyysit siitä, miten alempien maakerrosten ja ylemmän kallion ominaisuudet vaikuttavat pohjaveden kokonaisdynamiikkaan.

Eatnamvarrin ja Soahkevarrin tunturien rinteillä, erityisesti Eatnamvarrin eteläpuolella (suunnistus, ks. Figur 5-3), esiintyy lähteiden ruokkimia kaltevia soita. Kahden tunturin huiput muodostavat topografisia vedenjakajia, ja niille on ominaista näkyvissä oleva kallioperä tai alueet, joissa on erittäin ohuita maakerroksia. Nämä huiput muodostavat pohjaveden sisäänvirtausalueita, kun taas rinteiden juurella siis on lähteitä, joista pohjavesi virtaa ulos. Kyse on luultavasti pintapohjavedestä, joka virtaa ulos näistä lähteistä sen sijaan, että lähde olisi syvässä kalliiossa. Vesi suodattuu tunturien korkeille alueille ja virtaa sitten ohuissa pinnallisissa maakerroksissa ja työntyy ulos näkyviin rinteiden juurella tai syvennyksissä rinteiden varrella. Tämän tyyppinen pohjaveden ulosvirtaus ns. maastoeroosiossa on yleinen syy lähteiden muodostumiselle (Knutsson ja Morfelt 2002). Jonkin verran virtaamaa esiintyy todennäköisesti myös ylemmässä murtuneessa kallioperässä, mutta ei ole paikkakohtaisia tietoja, jotka osoittaisivat, että se olisi syvemmällä olevasta järjestelmästä virtaavaa vettä, joka virtaa ulos näissä lähteissä. Osa lähteistä on tulkittujen lineamenttien välittömässä läheisyydessä (Figur 5-3), mikä viittaisi siihen, että kyseessä voisi olla pohjavettä syvemmästä kalliosta, joka virtaa ulos havaittuihin lähteisiin. Usein lähteet ja tulkitut lineamentit osuvat kuitenkin kohdakkain sellaisten alueiden kanssa, joilla on vahva topografinen gradientti, mikä viittaa siihen, että lähteet ovat topografisesti riippuvaisia tai liittyvät ns. maastomurrokseen, toisin sanoen lineamenteissa ei esiinny syvän pohjaveden ulosvirtausta vaan matalamman pohjaveden ulosvirtausta maakerroksista, mikä synnyttää lähdevirtaamat Eatnamvarrin ja Soahkevarrin rinteillä.

Alueella on myös muita kartoitettuja lähteitä, jotka eivät ole topografisesti määrättyjä tai liittyneitä ns. maastomurrokseen. Figur 5-3 esittää joukkoa lähteitä kosteikko- ja alankoalueilla Peuravaaran pohjoispuolella. Nämä lähteet osuvat topografisesti mataliin kohtiin ja todennäköisesti syvemmän pohjaveden ulosvirtausalueille. Matemaattisen mallin avulla voidaan analysoida alueen sisään- ja ulosvirtauskuvioita, mikä on tärkeä lähtökohta lähteiden veden alkuperän paremmalle tulkinnalle.



Kuva 5-3. Kentätarkastetut lähteet Viscarian kaivoksen ympärillä.

Se, mitä tässä raportissa kutsutaan "kivimatriisiksi", viittaa siihen luonnollisen järjestelmän osaan, joka on maakerrosten alla. Kivimatriisi on jaettu käsitteellisessä ja numeerisessa mallissa neljään kategoriaan, joilla on erilaiset ominaisuudet: taustakivi, rako-, malmi- ja tunkeutumisyöhykkeet. Vedenläpäisevyys on alhaisin taustakivessä ja lisääntyy rako- ja malmivyöhykkeissä. Tunkeutumisyöhykkeiden läpäisevyys on puolestaan useita suuruusluokkia suurempi kuin rako- ja malmivyöhykkeiden.

Kiven johtavuus yleensä laskee syvyyden myötä, mikä on yleinen malli useissa kiteisissä kallioperissä (Ericsson ja Holmén 2010). Pinnallisemmän kallion oletetaan olevan haljenneempi (Geosigma 2016; Ramböll 2008; Mark & Miljö Hydrosense 2011), mikä merkitsee, että vallitsevaa pohjavesivirtausta tässä kallion yläosassa voidaan olettaa hallitsevan vaakasuora virtaus sen sijaan, että niillä olisi tiukka rakenteellinen geologinen yhteys. Viscarian alueen malmiot sijaitsevat kalliolla, jonka vedenläpäisevyys on korkea ja malmioiden vedenjohtavuus on useiden lähteiden tietojen mukaan luokkaa 1×10^{-6} m/s. LKAB:n toimeksiannosta suoritettavat poraukset paikallisella alueella Viscarian ympäristössä (Geosigma 2013) osoittavat, että eri porausreikävyöhykkeisiin liittyvien porausreikien johtavuus vaihtelee välillä $1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-6}$ m/s, kun taas taustakalliolla on hydraulisia johtavuuksia, jotka ovat 10–100 kertaa alhaisempia. D-vyöhykettä ympäröivissä porausrei'issä tehdyt testit (Golder Associates 2016) ilmaisevat eri porausreikävyöhykkeissä hydraulisia johtavuuksia, joiden suuruus vaihtelee välillä $1 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-8}$ m/s kalliolla yleisimmissä n. 300 m alueissa ja 500 m syvyydessä todettiin johtavuuden laskevan arvoihin $1 \times 10^{-9} - 1 \times 10^{-10}$ m/s. Suurin osa tuntuureilla tehdyistä tutkimuksista on tehty paikalla tai sen välittömässä läheisyydessä malmioille, minkä vuoksi mallialueen syrjäisimmillä alueilla kalliolla ominaisuuksista ei ole tietoa.

Yhteenvedon voidaan todeta, että sekä rakoverkoston jakautumisesta että taustakiven ominaisuuksista ja vyöhykkeistä, jotka eivät ole malmioiden välittömässä läheisyydessä, vallitsee epävarmuutta. Tämä ei ole kyseessä olevan hankkeen osalta ainutlaatuisia, vaan

kallion ominaisuuksiin liittyy aina eriaisteisia epävarmuustekijöitä ja konservatiiviset oletukset ja herkkyysanalyysit ovat siksi usein tarpeen näiden epävarmuustekijöiden merkityksen vähentämiseksi tai analysoimiseksi. Kallion ominaisuuksien herkkyysanalyysit ovat siksi olleet tärkeä osa matemaattisessa mallintamisessa. Lisäksi rakoverkoston laajuudesta on tehty konservatiivinen oletus, koska kaikkien tulkittujen lineamenttien (Mattson 2021) oletetaan olevan vettä johtavia vyöhykkeitä kalliossa. Kiven johtavuutta on luultavasti yliarvioitu tässä oletuksessa, mikä voi johtaa siihen, että tulevan kaivostoiminnan vaikutusta pinta- ja pohjavesijärjestelmään lineamenttia pitkin on yliarvioitu.

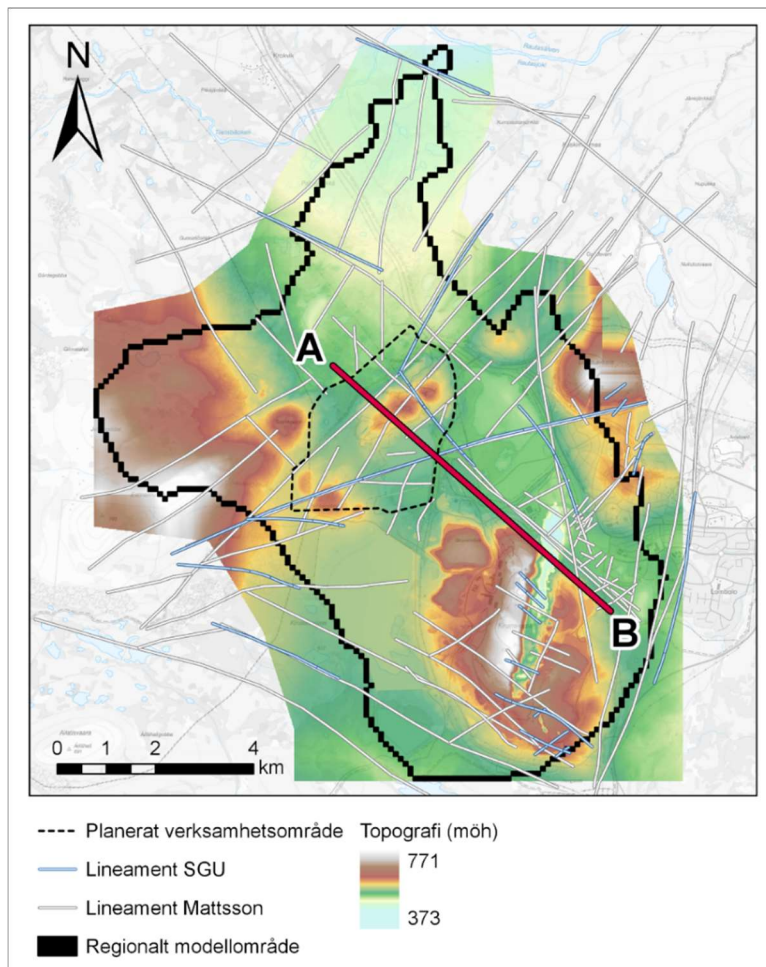
Viscarian alueen hydrogeologiseen järjestelmään on vaikuttanut aiempi kaivostoiminta. Häiriöttömissä olosuhteissa pohjaveden pinta noudattaa yleensä topografiaa, jolloin korkeilla alueilla pohjaveden pinta on syvällä ja alavilla alueilla lähempänä pintaa. Pohjaveden sisään- ja ulosvirtausta maaperän ja kallion välillä säätelevät laajemman mittakaavan topografia ja vettä kuljettavat rakoalueet, kun taas maakerroksissa on paikallinen lähellä pintaa olevan pohjaveden sisään- ja ulosvirtausjärjestelmä, jota puolestaan säätelevät paikalliset ylä- ja alamäet. sekä hyvin tai huonosti johtavien maa-ainesten leviäminen. Nykyisin vedellä täyttynyt kaivos AB-vyöhykkeellä vaikuttaa kuitenkin pohjaveden tasoon Peuravaaran alueella, jossa pohjaveden tasot ovat alempia kuin paikan nykyhetken häiriöttömissä olosuhteissa. Vedenkorkeuden taso kaivoksen koillisosassa, jossa maa on osittain romahtanut sisään ja johon on muodostunut vedellä täyttynyt syvennys, on noin 510 m merenpinnan yläpuolella. Peuravaaran koillisen puoleisella rinteellä pohjavesi virtaa maan pinnalle ja tämän veden kemialliset analyysit osoittavat, että sen lähde on kaivoksessa. Niin sanotussa kaivospurossa, jonka virtausta seurataan AVA15:ssä (Figur 4-12), hallitseva osa vedestä on siis pohjavettä, joka on peräisin vedellä täyttyneestä kaivoksesta. Tuleva kaivostoiminta ja kaivoksen kuivaaminen vähentävät näin ollen tätä vesivirtausta merkittävästi. Myös Peuravaaran lounaisosan maaperä on romahtanut sisään aikaisemman kaivostoiminnan seurauksena. Tällä romhdusalueella ei ole havaittavissa vapaata vedenpintaa, ja on epäselvempää, miten vesi tästä kaivoksen osasta tyhjenee pois ympäröivään maastoon. Ei ole epätodennäköistä, että pohjaveden runsaan muodostumisen aikoina myös tälle alueelle muodostuu vapaa vedenpinta. Lounaan puoleisessa rinteessä ei ole selkeitä lähdepurkaumia, ja pohjavesi todennäköisesti virtaa alavirran puoleisille kosteikkoalueille, pääasiassa etelään.

Kaivostoiminnan vaikutuksesta topografinen vedenjakaja, joka erottaa Kalixjoen ja Tornionjoen valuma-alueen (Figur 4-1), ei koske alueen pohjavettä. Lukuun ottamatta sateesta tullutta pientä osaa, joka ei suodatu maaperään ja vaikuttaa suoraan pintaveden valumaan esim. lumen sulamiskauden aikana tai lyhyinä hyvin voimakkaan sateen jaksoina, pohjaveden virtausta ohjaa luultavasti pohjavedenjakaja, johon vaikuttaa sekä Viscarian kaivos että Kiirunavaaran kaivos. Täysin häiriöttömissä olosuhteissa pohjaveden virtauskentän tulisi ohjautua pääasiassa topografian mukaisesti, mutta sitä ohjaavat sen sijaan rakovyöhykkeet, jotka ovat hydraulisesti yhteydessä näihin kahteen kaivokseen, sekä hydrogeologiset ominaisuudet siirtymässä maaperästä kallioon. Kiirunavaaran kaivoksen toiminta ja sen mahdollinen vaikutus Viscarian alueelle on tärkeää ottaa huomioon numeerisessa mallintamisessa. Alueelliseen pohjaveden virtaamaan kallioperässä vaikuttaa luultavasti Kiirunavaaran kaivostoiminnan seurauksena tapahtuva kallioperän pohjaveden pinnan aleneminen. Käsitys pohjaveden pinnan sijainnista Viscarian alueella perustuu kuitenkin alueen pohjavesimittausten tulkintoihin, että pintaan eivät vaikuta viereiset kaivostoiminnat.

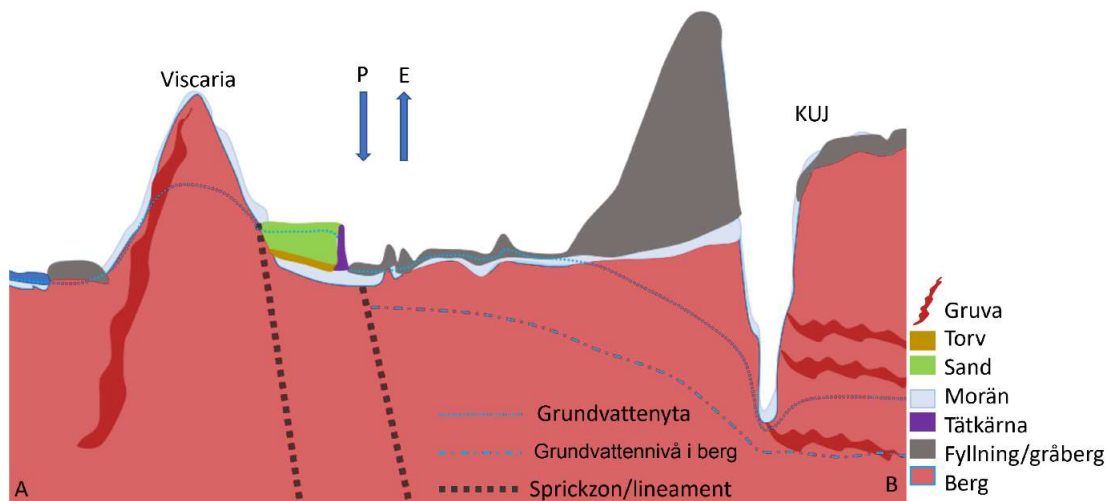
Kuvassa Figur 5-5 näkyvät alueen topografian tyyppiprofiili, maaperän syvyys, maaperätyypit ja tärkeimpien lineamenttien sijainnit. Profiili ulottuu Pahtajoesta luoteeseen suuntautuvalla alueella Peuravaaran ja Kiirunavaaran kaivoksen yli. Profiilin sijainti näkyy kuviossa Figur 5-4. Alueen maakerrokset ovat suhteellisen ohuita ja suuri osa profiilin varrella olevasta alueesta on kaivostoiminnan vaikutusalueella. Hylkykivivarastot Kiirunavaaran kaivoksella, täyttömässät ja Viscarian aikaisemman toiminnan aikaiset rikastushiekka-altaat ja ympäröivät patopenkereet hallitsevat profiiliin myötäisiä maakerroksia. Käsitteellisessä mallissa tulkittu pohjaveden pinta kallioon on merkitty katkoviivalla ja pohjavesipohjan sijainti pisteiviivalla. Käsitys alueellisesta pohjaveden virtaamasta on, että Kiirunavaaran kaivoksen suuntaan tapahtuu virtaamaa kallion alentuneiden pohjaveden tasojen vuoksi, kun taas vapaaseen pohjaveden pintaan

Kiirunavaaran kaivos ei vaikuta yhtä paljon. Pohjaveden pinta palautuu nopeammin profiilin länsisuunnassa ja seuraa sitten pinnanmuodostusta suurissa osissa aluetta. Tosin pohjaveden pinta on laskenut Peuravaaran alueella AB-vyöhykkeellä sijaitsevan veden täyttämän kaivoksen vuoksi. Peuravaaran länsipuolella sijaitsevilla rinteillä ja alankoalueilla on pohjaveden ulosvirtausalueita, ja täälläkin tapahtuu pohjaveden ulosvirtausta Pahtajokeen.

Noin 3 km profiilin sisällä kuviossa Figur 5-5 suurehko lineamentti leikkaa profiilin (A–B). Tämän vaikutus pohjaveden tasoon kalliossa on epäselvä ja siksi pohjaveden korkeutta kuvaavaa viivaa ei ole tarkoituksella piirretty kallioon suunnassa lineamentista luoteeseen. Yhden hypoteesin mukaan Kiirunavaaran kaivoksen vajoaminen on oikosulussa tässä lineamentissa. On myös mahdollista, että tämän lineamentin kautta tapahtuva vaikutus leviää Viscarian alueelle, koska se on puolestaankosketuksessa muihin Viscarian kaivosta leikkaaviin lineamentteihin. Numeerisesta mallista tulee tärkeä työkalu pohjaveden yleisen dynamiikan analysointiin tällä alueella.

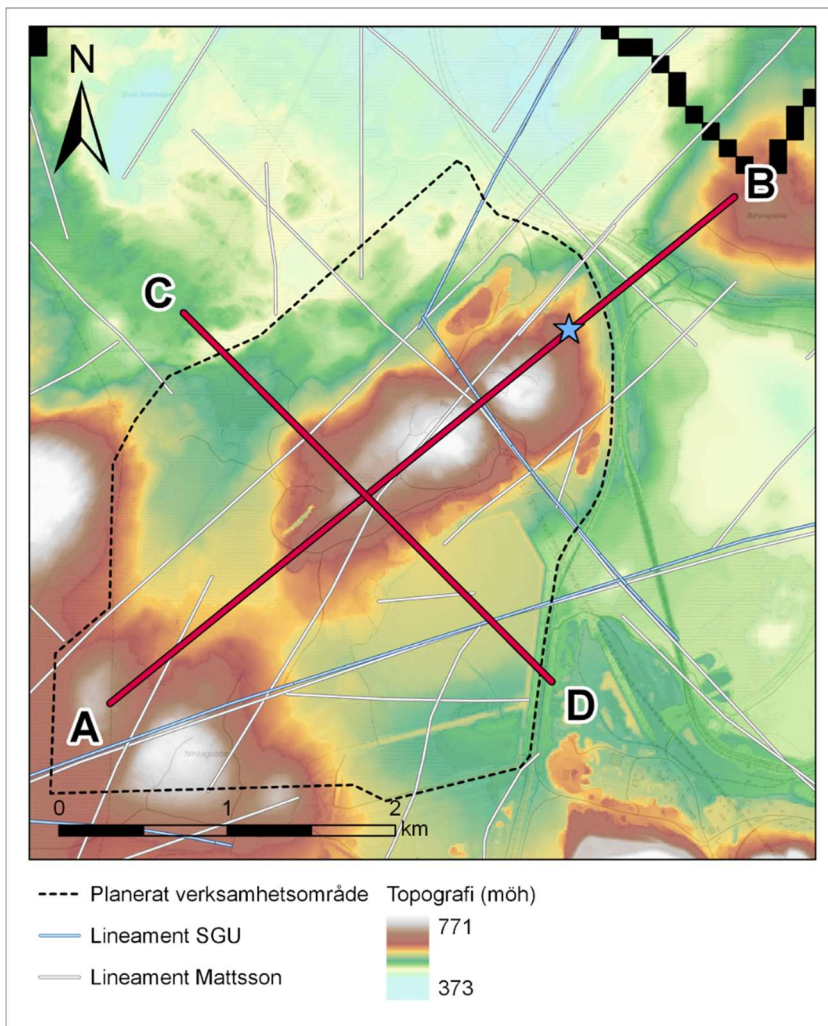


Kuva 5-4. Alueen topografian, maaperän ja tärkeimpien lineamenttien typpiprofiilin (A–B) sijainti, joka näkyy kuviossa Figur 5-5.

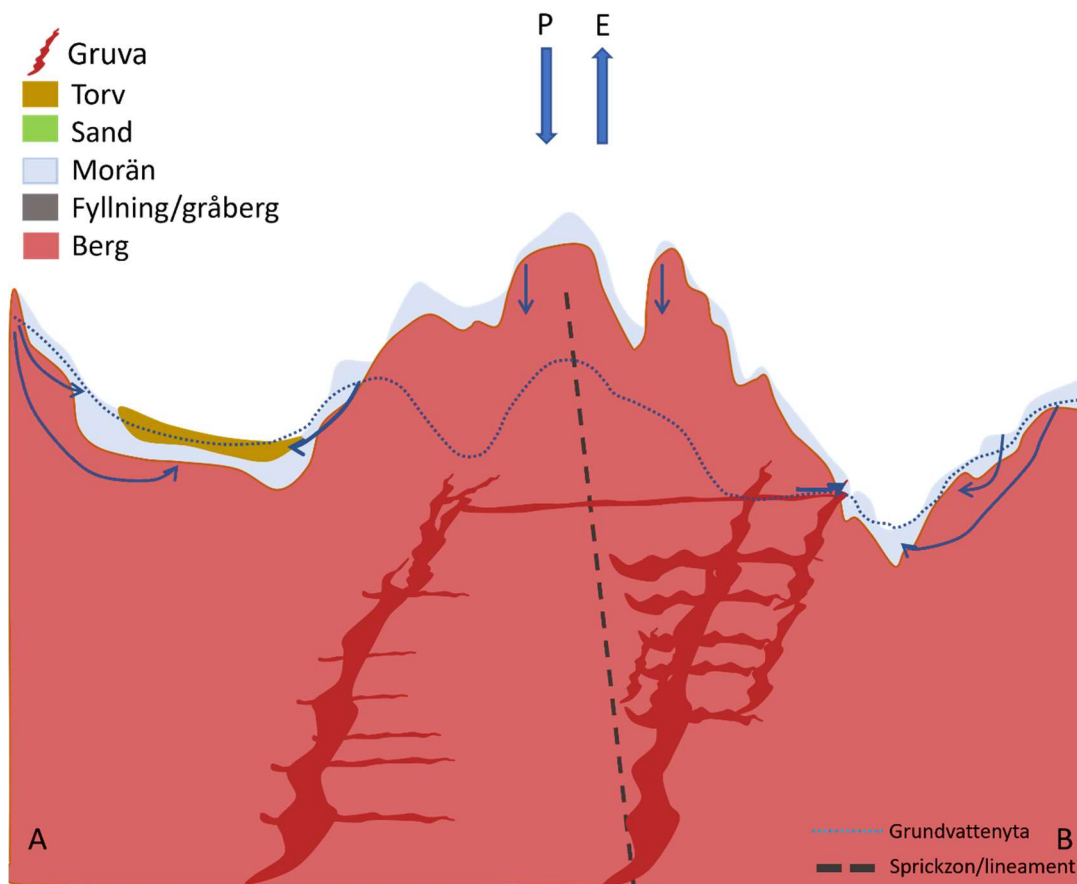


Kuva 5-5. Tyypiprofiili paikalliselta alueelta Pahtajoen luoteispuolelta, Peuravaaralta paikasta, jossa Viscarian kaivos sijaitsee, ja edelleen suunnassa kohti Kiirunavaaran kaivoksen (KUJ) ympäristöä, jossa hylkykivivarasto näkyy selkeänä kohoumana ja avolouhos näkyy mm. selkeänä painaumanäköön oikeassa osassa. Tyypiprofiilin vaakasuuntainen laajuus näkyy kuviossa Figur 5-4 (A–B).

Kuvassa Figur 5-6 näkyy kahden tyypiprofiilin tila pituus- (A-B) ja leveys-suunnassa (C-D) Viscarian kaivoksesta, jonka maaperäkerrosten järjestys, topografia ja pääasialliset lineamentit näkyvät kuvissa Figur 5-7 ja Figur 5-8. Kaivoksen A-B-profiilin varrella suhteellisen ohuita maakerroksia hallitsee moreeni ja profiilin lounaisosassa on turvealue. Luultavasti AB-vyöhykkeen vedellä täytetystä kaivoksesta valuu pohjavettä näille turvealueille. Kaivoksen koillisosassa pohjavettä valuu pois Peuravaarasta alas rinteessä olevien lähdepurojen kautta. Tässä kaivoksen osassa vedenpoiston taso sijaitsee noin 510 m merenpinnan yläpuolella. On epäselvää, onko pohjoisen ja eteläisen kaivosalueen yhdistävä tunneli tukossa vai ei, ja mittaukset suoraan kaivoksen yläpuolella osoittavat korkeampia pohjaveden pintoja pohjoisen ja eteläisen kaivososan välisellä alueella. Havaitut pohjaveden pinnat pohjoisen ja etelän välisellä alueella ovat noin 525–550 m merenpinnan yläpuolella. Profiilin molemmissa päissä olevilla ylänköalueilla pohjaveden virtauksen arvioidaan olevan kaivoksen vaikutusta, ja siihen vaikuttaa pääasiassa topografia, sisäänvirtaus alueen ylängöillä ja ulosvirtaus matalilla alankoalueilla. Kaavioon piirretyt nuolet ovat vain kaavamaisia havainnollistavia tulkittua kuvaa pohjaveden virtauskuvioista.

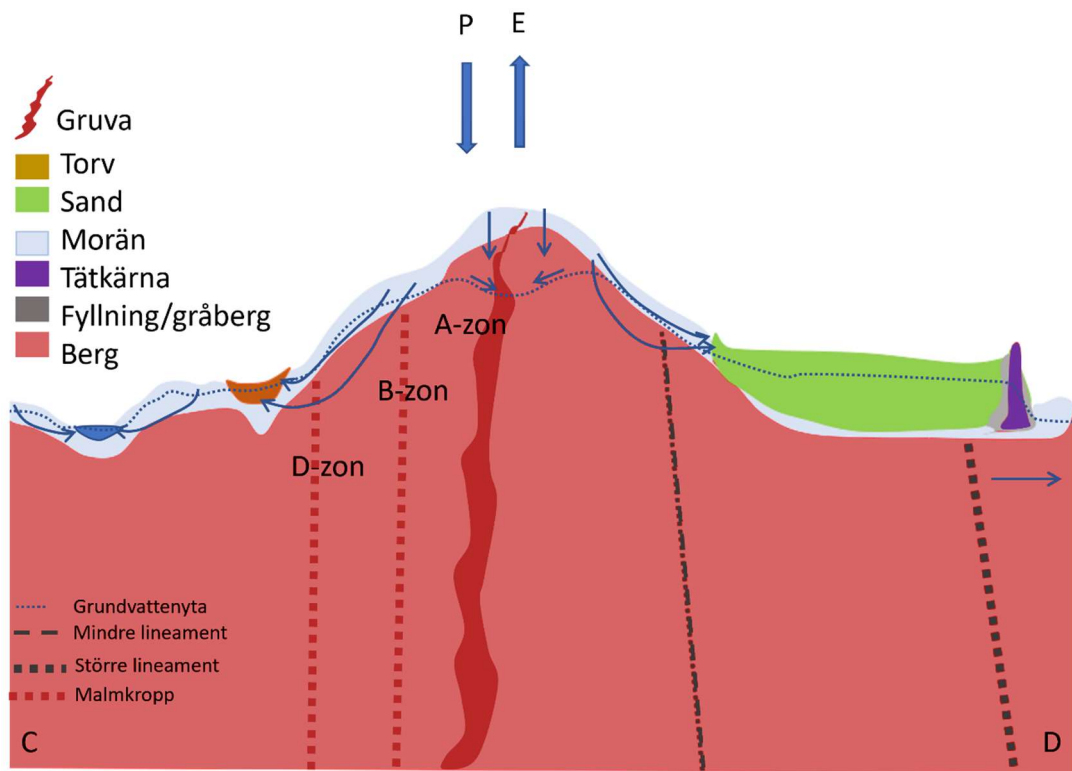


Kuva 5-6. Topografian typpiprofiilien, maaperätyyppien ja alueen tärkeimpien rakoalueiden sijainti, joka esitetään kuvioissa Figur 5-7 (typpiprofiili A–B) ja Figur 5-8 (typpiprofiili C–D). Sininen tähti osoittaa alueen, josta pohjavesi virtaa ulos vedellä täytetystä kaivoksesta.



Kuva 5-7. Paikallisen alueen kattava tyypiprofiili profiilia A-B pitkin, Viscarian luoteisalueelta kaakon suuntaan. Tyypiprofiilin vaakasuuntainen laajuus näkyy kuviossa Figur 5-6.

Kaivoksen poikki kulkevan C-D-profiilin varrella maakerrokset koostuvat moreenista, turpeesta ja entisen Viscarian kaivoksen rakentamasta rikastushiekka-altaasta. Kaivoksen yläpuolella on alaspäin suuntautuva pohjavesivirtaus ja paikallinen pohjaveden tason on alhaalla Peuravaaran yläpuolella, minkä aiheuttaa vedellä täytynyt kaivos. Peuravaaran luoteis- ja kaakkoisrinteillä vesitäytteisen kaivoksen vaikutuksen oletetaan kuitenkin olevan pienempi, ja pohjaveden ulosvirtaus tapahtuu rinteitä pitkin ja alas vuoren pohjoispuolen tasaisille turvealueille ja rikastushiekka-altaan suuntaan. Rikastushiekka-altaan itäpuolella oletetaan tapahtuvan alueellisen pohjaveden virtausta Kiirunavaaran kaivoksen suuntaan tämän kaivoksen aiheuttaman pohjaveden paineen alenemisen seurauksena. Kaavioon piirretyt nuolet ovat vain kaavamaisia ja havainnollistavat tulkittua kuvaa pohjaveden virtauskuvioista.



Kuva 5-8. Paikallisen alueen kattava tyyppiprofiili profiilia C-D pitkin Viscarian alueen lounaisesta osasta koilliseen osaan. Tyyppiprofiilin vaakasuuntainen laajuus näkyy kuviossa Figur 5-6.

6 Numeerinen malli

Tässä luvussa kuvataan, miten numeeriset mallit rakennetaan ja parametroidaan. Luvussa kuvataan mallien reunaehdot ja alkuolosuhteet, eri komponentit (pintavesi, kyllästymätön vyöhyke, kyllästynyt vyöhyke ja kaivos) sekä se, miten ne on kuvattu puhtaasti numeerisesti.

6.1 Pintavesimalli

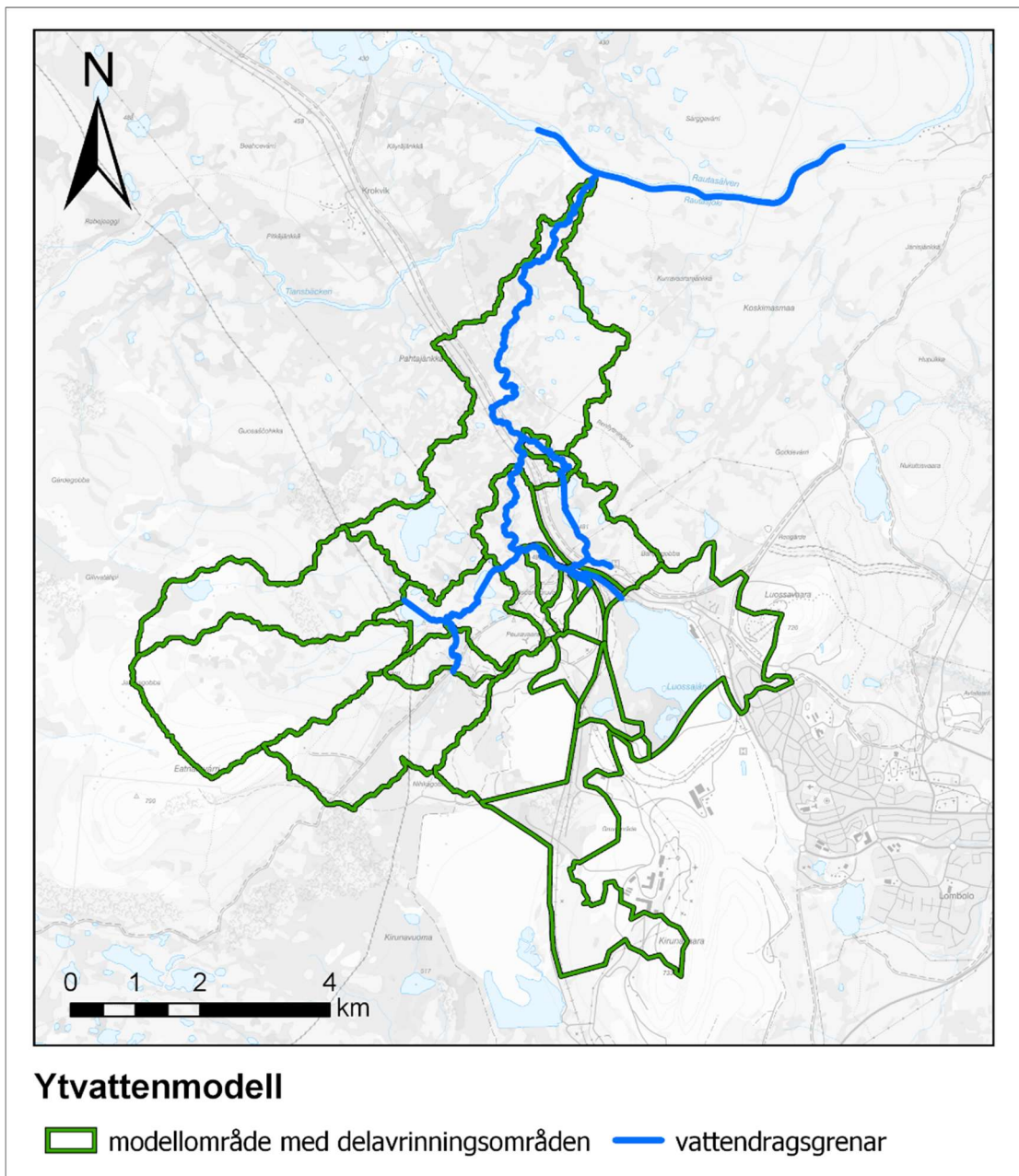
6.1.1 Mallialue ja reunaehdot

Mallialue on rajattu topografisten valuma-alueiden rajoja pitkin ja mallialue sekä NAM- että MIKE HYDRO -jokimalleille on sama, ks. Figur 6-1. NAM-mallissa mallialue on jaettu neljään toista pienempään osa-alueeseen, ks. Figur 6-1. Nämä jaot on tehty niin, että MIKE HYDRO Riverissä eri vesistöjen haaroja kuormittaa vain paikallinen valuma. Kuten mainittiin kohdassa 4.1.2, valtaosa valuma-alueesta ohjataan laskemaan pohjoiseen Tornionjoen suuntaan Pahtajoen ja Rautasjoen kautta. Mallialueen kaakkoiskulmassa olevien viiden laskuputken pitäisi luonnollisesti ohjata valuma etelään kohti Kalixjokea, mutta ne on kuitenkin nyt ohjattu suuntaamaan valutus Luossajärven, Pahtajoen, Rautasjoen ja alarinteen kautta pohjoiseen ja lopulta Tornionjokeen.

Mallin ylempi reunaehto koostuu sademäärästä, lämpötilasta ja mahdollisesta haihtumisesta. Malli laskee todelliset haihtumisnopeudet simulaation aikana. Alareuna koostuu kahdesta säiliöstä, jotka simuloivat veden varastoitumista ja kuljetusta pinnan sekä kyllästymättömän ja kyllästyneen vyöhykkeen välillä. Vaakasuuntaisten reunaehto- osalta on oletettu, että pinta- ja pohjaveden jakajat osuvat yhteen ja että horisontaalista kuljetusta ei tapahdu NAM:n osa-alueiden välillä vaan ainoastaan MIKE HYDRO Riverin vesistöverkoston kautta. Tässä olettamassa on kuitenkin seuraavat poikkeamat:

- pumppu KP38 ja vuoto pumppuun KP49, joka pumppaa vettä Luossajärvestä Luossajokeen ja LKAB:n hiekkasäiliöön, mallinnetaan Luossajärven päästöinä, jotka virtaavat suoraan mallialueen ulkopuolelle.
- A-vyöhykkeen nykyisen kaivoksen pohjaveden lisäys, jota NAM ei osaa jäljitellä, mallinnetaan käyttämällä toista riippumatonta valuma- aluetta, jossa vain maanalaiset virtaukset on kytketty malliin kaivoksen vaikutuksen simuloimiseksi
- sisäisellä veden siirrolla Luossajärvestä kaksoisjärvien järjestelmään kuvitteellisen kanavan kautta simuloidaan vuotavaa vanhaa putkea.

Käsitteellisessä mallissa luvussa 5 oletetaan, että pinta- ja pohjaveden jakajat eivät osu yhteen. Tämä toki koskee syvempää pohjavesijärjestelmää. MIKE HYDRO Riverissä ja NAM:ssä tehdyssä yksiulotteisessa mallinnustyyppissä, jotka koskevat ensisijaisesti pintavesistöjen ja pintapohjaveden yhteyttä maakerroksissa, oletus voi päteä.



Kuva 6-1. Mallialue MIKE HYDRO Riverille ja NAM:lle (ulompi musta/vihreä viiva), NAM:n osa-alueet (sisäiset mustat/vihreät viivat) ja MIKE HYDRO Riverin vesistöhaarat (siniset viivat).

6.1.2 Hydrologinen malli – NAM

NAM-mallialue on jaettu 14:ään osa-alueeseen, ks. Figur 6-1, topografisten valuma-alueiden rajoja pitkin, jotta NAM-malli voi antaa MIKE HYDRO Riverille paikallisia valumatietoja. NAM käyttää sademäärää, lämpötilaa ja mahdollista haihtumista ajotietoina valumisprosessien simulointiin. Kohdassa 3.1 kuvataan NAM-mallin komponentteja ja prosesseja.

6.1.3 Hydraulinen malli – MIKE HYDRO River

Jotta voitaisiin kuvata tämänhetkisiä virtausolosuhteita, vedenkorkeutta ja veden laatua sekä sitä, miten kaivostoiminta niihin vaikuttaa, rakennettiin yksilotteinen hydrodynaaminen malli. MIKE HYDRO River -malli koostuu viidestä vesistöhaarasta (Figur 6-1), jotka

määritellään 30 mitatulla poikkileikkauksella ja 77 poikkileikkauksella, jotka on arvioitu käyttämällä digitaalista korkeusmallia ja interpoloimalla pohjaprofiilit havaittujen poikkileikkausten välillä. Mukana on kolme muuta kuvitteellista haaraa, jotka simuloivat Luossajärvestä pumpun KP38 pumppaamaa vettä kohti KP49:ää vuotavaa vettä ja Tvillingjö-järjestelmään valuvan pohjaveden kulkeutumista kyllästymättömän vyöhykkeen kautta. Näiden kuvitteellisten haarojen keskimääräiset virtausnopeudet ovat:

- KP38 = 0,0439 m³/s jatkuvana ottona ympäri vuoden. Tämä pumppausvirtaus on mitattu keskimääräinen virtaus KP38:sta vuosina 2011–2020
- vuoto KP49:ää kohti = 0,012 m³/s. Vuodon keskimääräinen virtaus KP49:ään arvioitiin ratkaisemalla pumpun KP49 koontilammen veden massatase.
- vuoto Tvillingjärn-järjestelmää kohti = 0,02 m³/s. Syynä tähän vuotoon on, että AVA01:ssä mitattiin kohonneita kloriditasoja, mitä ei voida selittää pelkästään AVA15:n, AVA16:n ja paikallisen sisäänvirtausalueen vaikutuksilla. Ainoa muu tunnettu lähde, jonka kloridipitoisuus on riittävän korkea selittämään AVA01:n kohonneet tasot, on Luossajärven vesi. Hypoteesina on, että Luossajärvestä tapahtuu vuoto Tvillingjärn-järjestelmään. Tvillingstjärnarna -järjestelmään menevän vuodon keskimääräinen virtausnopeus arvioitiin ratkaisemalla järjestelmän kloridin massatase AVA01:ssä.

Luossajärven vedenkorkeutta säännellään kahdella luukulla (poistoaukko sijaitsee Luossajärven luoteiskulmassa, jossa kanava ja järvi kohtaavat), mutta LKAB käyttää vain yhtä luukku kerrallaan järven pinnan säätelyyn. Tästä syystä Luossajärven ulosvirtaus on mallinnettu portilla ja todellisuudessa käytetyllä säätelytaulukolla (**Tabell 6-1**).

Taulukko 6-1. Luossajärven ulostulon luukkujen säätelytaulukko.

Luossajärven veden taso	korkeus (RH2000)	Luukun paikka (mm)
500,01	498,27	0
500,02	498,29	20
500,03	498,31	40
500,04	498,33	60
500,05	498,35	80
500,06	498,37	100
500,07	498,445	175
500,08	498,57	300
500,09	498,78	510
500,1	498,78	510

6.1.4 Leviämismalli – MIKE 21

MIKE21:een on laadittu kaksiulotteinen malli kuvaamaan, miten Pahtajoen mahdollisesti saastunut vesi sekoittuu ja leviää Rautasjokeen tapahtuneen ulosvirtauksen jälkeen, ks. 2.1.2 ja 3.2. Rautajoen kaksiulotteinen leviämismalli on laadittu seuraavien tietojen perusteella:

- kaksi mitattua poikkileikkausta,

- pohjatasolla ja veden syvyydellä mitattu pitkittäisprofiili,
- korkeusmalli,
- ilmakuva ja droonikuvia.

Figur 6-2 näyttää kahden mitatun poikkileikkauksen sijainnin (punaiset merkit) sekä mitatun pituusprofiilin (vaaleansininen merkintä) Rautasjoen varrella. Kuvassa näkyy myös, missä Pahtajoen ulosvirtaus tapahtuu (musta nuoli). Mitatulta alueelta alavirtaan on käytetty yksityiskohtaista korkeusmallia mallin batymetrian arvioimiseen. Koska korkeusmallissa ei ole mukana vedenpinnan alla tapahtuvaa batymetriaa vaan ainoastaan vedenpinnan taso, on vedenpintaa alennettu vesistön keskisyvyyttä vastaavalla tasolla, jotta saadaan kuvaus vedenalaisesta batymetriasta.

Mallialue ulottuu heti Pahtajoen laskukohdasta ylävirtaan mitatun alueen ohi ja alavirtaan alueen ohi, jossa vesimassan on arvioitu olevan täysin sekoittunut, ks. tummansininen viiva kuviossa Figur 6-2.

Mallia kuormitetaan syksyn 2020 aikana havaituilla mitatuilla virtauksilla. Mittaushetkellä Rautasjoen virtaama oli n. 30 m³/s ja Pahtajoen 0,3 m³/s (VDM 2020).



Kuva 6-2. Tasokuva mallialueesta ja leviämismallissa käytetystä Rautasjoen osasta.

6.2 Pohjavesimalli

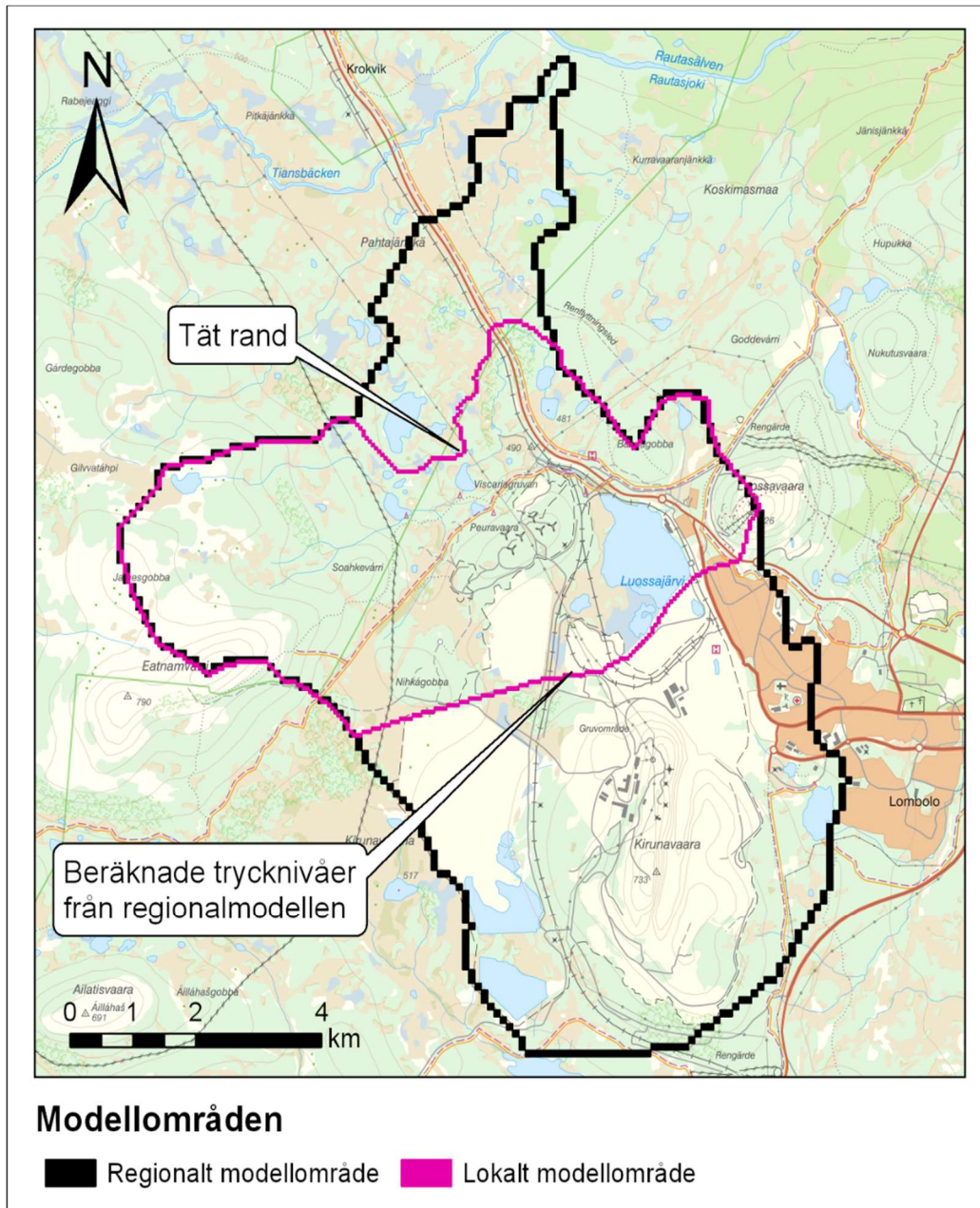
6.2.1 Mallialue ja reunaehdot

Kaksi mallialuetta, yksi paikallinen ja yksi alueellinen, on rajattu (Figur 6-3). Alueellinen mallialue on rajattu topografisten rajojen perusteella olettaen, että pinta- ja pohjaveden jakajat osuvat yhteen ja aluemallin ulkorajoille on asetettu tiukkoja rajoja kaikissa laskentakerroksissa maanpinnasta mallin pohjaan asti. Koska oletamus, että pinta- ja pohjaveden jakajat osuvat yhteen, ei päde koko paikallisessa mallissa, paikallisen mallialueen ulkoreunalla on sovellettu erilaisia reunaehtoja. Alueille, joilla paikallismallin reuna osuu aluemalliin, on asetettu tiukkoja rajoja. Paikallisen mallin pohjoisrajaa pitkin on myös asetettu tiukka raja, koska se seuraa osavesialueen rajaa ja pohjaveden virtauksen tämän rajan yli oletetaan olevan rajoitettu. Eteläreuna muodostuu aluemallissa tehdyistä laskelmista poimitusta ajallisesti muuttuvasta painereunasta, jota pitkin voi esiintyä virtausta.

Sekä aluemallissa että paikallisessa mallissa yläreunaehdot ovat sademäärä ja mahdollinen evapotranspiraatio (PET). Todellinen kokonaishaihtuminen lasketaan simulaation aikana. Molemmilla malleilla alareuna on tiivis ja sijaitsee tasolla -800 m merenpinnan yläpuolella.

Alueellisen mallin vaakaresoluutio on 100 x 100 m ja paikallismallin 50 x 50 m. Pystyresoluutio vaihtelee syvyyden mukaan. Lisää yksityiskohtia pystyresoluutiosta on kohdassa 6.2.3.

Kaikissa laskelmissa on suoritettu transienttisimulaatioita, joissa P:n ja T:n syöttötiedot vaihtelevat päivätasolla ja PET kuukausittaisella tasolla. Aika-askel mallissa vaihtelee simulaation kuluessa ja yleensä se pienenee, kun virtauskuorma pintajärjestelmissä on suuri, eli runsaiden sateiden ja lumen sulamisen aikana. Kyllästyneellä vyöhykkeellä on käytetty 3 tunnin ja kyllästymättömällä vyöhykkeellä yhden tunnin enimmäisaika-askelta.



Kuva 6-3. Mallialueen alueellinen ja paikallinen levittäytyminen.

6.2.2 Kyllästymätön vyöhyke

Kyllästymättömän virtauksen hydrauliset ominaisuudet on otettu DHI:n sisäisistä tietokannoista, joiden tiedot perustuvat sekä yleisiin että paikkakohtaisiin tietoihin eri maaperätyypeistä. Koska Viscarian alueella otetuista näytteistä ei ole olemassa paikkakohtaisia arvoja kenttäkapasiteetille tai valutettavan veden määrälle (kyllästyneen

veden pitoisuus miinus vesipitoisuus kenttäkapasiteetilla), tietokannan arvoja on käytetty suoraan mallin ns. base case -perustapauksena ilman korjauksia. Koska tietokannan eri maaperätyyppien arvot ovat syntyneet useiden paikkakohtaisten projektien tuloksena, joissa MIKE SHE -mallia on sovellettu eri kohteisiin, tietokanta-arvojen oletettiin olevan hyvä lähtökohta mallille. paikallisten tietojen puuttumisen vuoksi. Sen jälkeen mallissa on tehty herkkyysanalyysyjä, joiden tavoitteena on ensi sijassa selvittää sen herkkyyttä, miten pois valutettavan veden määrä vaikuttaa pohjaveden tasoon ja pohjaveden ulosvirtaukseen alueen vesistöihin runsaan imeytymisen tai kuivuuden aikana.

Tietokannasta löydetty kiteisen kallion kyllästymättömät virtausparametrit vastaavat erittäin tiheää kalliota, jolla on huono imeyttämiskyky. Aiemmissa mallisovelluksissa (Werner et al. 2007; Bosson et al. 2008; Jutebring Sterte et al. 2018) tämän tiheän kallion päällä on ohut kerros läpäisevämpää materiaalia. Taulukossa Tabell 6-2 tätä kutsutaan nimellä "peruskallion päällä oleva maa". Alueilla, joilla on paljasta kalliota, ylimmät desimetrit on kuvattu "peruskallion päällä olevaksi maaksi", jotta mallissa voidaan kuvata ohutta sammal- ja maakerrosta, joka usein peittää paljastumat. Koska tämän parametroidin todettiin aiemmissa mallitutkimuksissa kuvaavan valuma- ja pohjaveden muodostumista alueilla, joilla on paljasta kalliota, tämä parametrinti otettiin käyttöön myös Viscarian alueella. On kuitenkin syytä huomata, että paljaana olevien kallioiden halkeamilla voi olla huomattavasti suurempi imeyttämiskyky. Näitä halkeamia ei ole otettu huomioon tässä mallin kyllästymättömän vyöhykkeen kuvauksessa. Tämä voi johtaa paikallisen pohjaveden muodostumisen aliarvioimiseen alueilla, joilla on paljasta kalliota.

Tietokannan ominaisuudet on linkitetty mallin jokaiseen maaperätyyppiin ja maaperätyyppien kerrosjärjestys noudattaa kohdassa 4.1.4 esitettyä maaperän kerrosjärjestystä sekä käsitteellistä mallia luvussa 5.

Kyllästymättömän vyöhykkeen pystyresoluutio on hienompi kuin kyllästyneelle vyöhykkeelle käytetyt laskennalliset kerrokset (ks. kohta 6.2.3). Kyllästymättömien solujen tarkempi jako antaa enemmän joustavuutta pohjaveden pinnan sijainnin dynamiikassa. Ylimmän metrin pystyresoluutio on 10 cm. Yhden metrin syvyydestä 10 metrin syvyyteen resoluutio on 0,5 m ja syvyyalueella 10–20 kyllästymättömän vyöhykkeen resoluutio on 1 metri. Alle 20 m syvyydessä kyllästymättömän vyöhykkeen pystyresoluutio on 2 m. Kyllästymätön vyöhyke on jaettu 9 luokkaan taulukon Tabell 6-2 mukaisesti, jossa ilmoitetaan myös kunkin luokan kyllästynyt johtokyky, vesipitoisuus kenttäkapasiteetilla ja kyllästynyt vesipitoisuus.

Taulukko 6-2. Kyllästymättömän alueen maalajit ja niiden hydrauliset ominaisuudet.

	Kyllästynyt hydraulinen johtavuus (m/s) yksiulotteisen kyllästymättömän virtaaman laskemiseen	Kyllästynyt vesipitoisuus (-)	Kenttäkapasiteetin vesipitoisuus (-)
Hylkykivivarasto	2×10^{-3}	0,3	0,09
Peruskallion päällä oleva maa	1×10^{-4}	0,5	0,3
Jäätikkökjokerrostuma	$4,2 \times 10^{-5}$	0,47	0,04
Karkea moreeni	3×10^{-5}	0,38	0,2
Keskikarkea moreeni	$1,5 \times 10^{-6}$	0,22	0,18
Tiheä moreeni	$1,5 \times 10^{-7}$	0,28	0,23
Turve	1×10^{-6}	0,7	0,6

*Peruskallion päällä oleva maa vastaa ohutta maaperää tai sammalta, jota esiintyy usein näkyvissä olevilla kallioilla. Tämä hyvin ohut maakerros vähentää kalliolta tapahtuvaa suoraa pintavuotoa ja vaikuttaa valumiseen ja imeytymiseen kallioisilla alueilla.

6.2.3 Kyllästynyt vyöhyke

MIKE SHE:ssä on mahdollista tehdä ero geologisten ja laskennallisten kerrosten välille. Geologisen kerroksen paksuus voi olla nolla, mikä merkitsee että kerroksen paksuus voidaan mukauttaa maaperätyyppin jakautumisen perusteella. Laskentakerrosten tulee kuitenkin olla jatkuvia ja sekä alueellisessa että paikallisessa mallissa on käytettävä vähintään 2 m paksuutta. Tämä merkitsee, että laskentakeros voi sisältää useita erilaisia maaperätyppejä. Geologisen mallin ominaisuudet lasketaan sitten keskiarvoina laskentakerroksen paksuudesta. Keskiarvon muodostaminen tapahtuu eri tavalla ominaisuuksille, jotka ohjaavat vaaka- ja pystysuuntaista virtaussuuntaa. Horisontaaliselle hydrauliselle johtavuudelle lasketaan keskiarvo niin, että eniten laskentakerroksen sisällä oleva läpäisevä maaperä otetaan huomioon, kun taas pystysuoran vedenjohtavuuden laskennassa käytetään vähiten läpäisevää maatyypin eli geometristä tai harmonista keskiarvoa sovelletaan sen mukaan, onko kyseessä vaaka- vai pystysuuntainen johtavuus, joka on laskettava.

Maaperäkerrosten geologinen malli koostuu seitsemästä eri maatyypistä kohdassa 4.1.4 esitetyn kerrosjärjestyksen mukaisesti. Mallin kunkin maatyypin hydrauliset ominaisuudet vedenjohtavuuden, veden vapautumisnopeuden ja varastointikertoimen suhteen luetellaan taulukossa Tabell 6-3. Vedenjohtavuuden arvot liittyvät alueella tehdyistä tutkimuksista huolimatta epävarmuustekijöihin ja taulukossa Tabell 6-3 luetellut arvot ovat ensimmäinen paikallisiin ja yleisiin tietoihin perustuva lähestymistapa. Mallin herkkyyden tutkiminen näille arvoille on keskeinen osa luvussa 0 esiteltyä kalibrointityötä.

Kallio on jaettu eri luokkiin sen mukaan, onko kyseessä taustakivi, rakoalueet vai malmivyöhykkeet. Lisäksi sekä Viscarian että Kiirunavaaran kaivoksen kaivoskäytävissä ja niiden ympärillä on tunkeutumisvyöhykkeitä ja purkamattoman malmin alueita sekä piirteitä Kiirunavaaran kaivokselle alueen kaivostoiminnan seurauksena syntyneestä muodonmuutosvyöhykkeestä. Kunkin kallioperäluokan ominaisuudet löytyvät taulukosta Tabell 6-3.

Kalliomallin rakoalueet on määritelty alueen tulkittujen lineamenttien perusteella (Mattson, 2021). Murtumavyöhykkeiden leveys on sama kuin Mattsonin tutkimuksessa (2021) ilmoitettujen lineamenttien leveys. Rakovyöhykkeiden keskimääräinen leveys mallissa on n. 30 m. Kaikkien Mattsonin (2021) tulkitsemien lineamenttien oletetaan olevan vettä johtavia rakovyöhykkeitä. Tämä on konservatiivinen oletamus. Koska yksi tämän tutkimuksen päätavoitteista on selvittää kaivoksen vaikutus pinta- ja pohjaveden tasoon, tätä oletamusta on pidetty parhaana, kun otetaan huomioon kaivoksen lähialuetta koskevat rajalliset tiedot kalliosta. Vaikutus pikemminkin yli- kuin aliarvioidaan tällä olettamuksella.

Veden vapautumisnopeuksista ja erityisistä varastointikertoimista alueen maaperälle ja eri kivien alueille (taustakivi, rakoalueet, tunkeutumisvyöhykkeet jne.) on hyvin vähän tietoa. Aiempien mallitutkimusten geneerisiä arvoja on siis sovellettu mallin perustapauksessa, ja näitä arvoja on sitten vaihdeltu herkkyyksianalyseissa.

Kiirunavaaran kaivoksen muodonmuutosvyöhykkeen ominaisuudet on peritty teoksissa Geosigma (2018) ja Geosigma/Intera (2013) raportoiduista pohjavesimallinnuksista. Kaivoksen ympärillä olevan kallion ylempi 50 m:n osuus koostuu kolmesta vyöhykkeestä, muodonmuutosvyöhyke KUJ koodi 3-5 taulukossa Tabell 6-3. Koodi 5 kattaa kohdassa esitetyn muodonmuutosvyöhykkeen, joka näkyy kuviossa Figur 6-6, kun taas koodi 3 muodostaa alueen vyöhykkeestä länteen ja koodi 4 alueen itään. Koodit 3 ja 4 esiintyvät vain kallion ylimmillä 50 metrillä, kun taas muodonmuutosvyöhykkeen laajentuma (koodi 5) ulottuu alimman juonnekerroksen tasolle eli 1365 metrin korkeudelle.

Taulukko 6-3. Mallin eri geologisten kerrosten hydrauliset ominaisuudet.

	Horisontaalinen hydraulinen johtavuus (m/s)	Vertikaalinen hydraulinen johtavuus (m/s)	Veden vapautumisnopeus, (-)	Erityinen varastointikerroin (/m)
Jäävirran materiaali	1×10^{-4}	1×10^{-4}	0,34	0,2
Turve	6×10^{-7}	3×10^{-7}	0,4	0,05
Järvisedimentti	1×10^{-9}	1×10^{-9}	0,2	0,0001
Hiekkainen moreeni	1×10^{-5}	1×10^{-6}	0,25	0,0003
Tiheä moreeni	5×10^{-6}	5×10^{-7}	0,25	0,0003
Täyte	1×10^{-5}	1×10^{-6}	0,2	0,0001
Näkyvissä oleva kallio	1×10^{-6}	1×10^{-6}	0,2	0,0001
Sortumavyöhykkeet	1×10^{-3}	1×10^{-3}	0,2	0,0001
Purkautumaton malmi	5×10^{-5}	5×10^{-5}	0,2	0,0001
Malmivyöhykkeet	1×10^{-5}	1×10^{-5}	0,1	0,0001
Rakovyöhykkeet	1×10^{-6}	1×10^{-6}	0,1	0,0001
Taustakivi	1×10^{-8}	1×10^{-8}	0,05	1E-6
Muodonmuutosvyöhyke KUJ koodi5	$2,9 \times 10^{-5}$	$2,9 \times 10^{-5}$	0,1	0,0001
Muodonmuutosvyöhyke KUJ koodi4	$6,9 \times 10^{-7}$	$6,9 \times 10^{-7}$	0,2	0,0001
Muodonmuutosvyöhyke KUJ koodi3	$5,8 \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^{-4}$	0,2	0,0001

Numeerisessa mallissa maalajiton jaettu kolmeen laskentakerrokseen, kun taas kallio on jaettu 17:ään laskentakerrokseen. Laskentakerroksen paksuus voi vaihdella mallialueen sisällä. Mallin perustapauksessa ylempi maakerros on 2 m:n paksuinen. Toisen maakerroksen pohjapinta on 7 m maanpinnan alapuolella ja alimman maakerroksen paksuus vaihtelee riippuen kokonaismaakerroksen paksuudesta, jossa moreenin alareuna määrittää alareunan. Ylin laskentakerros kalliolla on 10 m:n paksuinen, jotta voidaan kuvata murtuneempia olosuhteita maan ja kallion välisessä siirtymässä. Muut laskentakerrokset kalliolla ovat yleensä 50 m:n paksuisia, mutta ne ovat paikallisesti mukautuneita kahden kaivoksen laajuuden mukaisiksi. Kalibroinnin aikana eri maakerrosten lujuutta voidaan korjata herkkyyksanalyysin avulla.

6.2.4 Viscarian kaivos

Pohjavesimallissa kaivoksen sijainnit kuvataan MIKE URBAN -mallinustyökalussa useina ilmanpaineella varustettuina putkina (ks. luku 3). Ilmanpaine saa pohjaveden virtaamaan kohti putkea (sijaintia) ja sisäänvuoto lasketaan kohdassa 3.4 kuvattavalla tavalla. Vaihto MIKE SHE:n kalliomatriisin ja MIKE URBANin johdinten eli sijaintien välillä tapahtuu jatkuvasti koko laskennan ajan. Kaivoksen tulovirtausta säätelevät kallion ominaisuudet ja sijaintien seinien vedenläpäisevyys. Rajoittavana tekijänä on alhaisin vedenläpäisevyys eli ympäröivän kallion ominaisuudet sääntelevät kaivokseen tapahtuvaa veden virtausta. Mallissa on mahdollista käyttää kaivoksen ympärillä olevaa ruiskutusvyöhykettä, mutta sijainteja ei ole injektoitu malliin, vaan ympäröivän kallion ominaisuuksien oletetaan ohjaavan kaivoksen sisäänvirtausta.

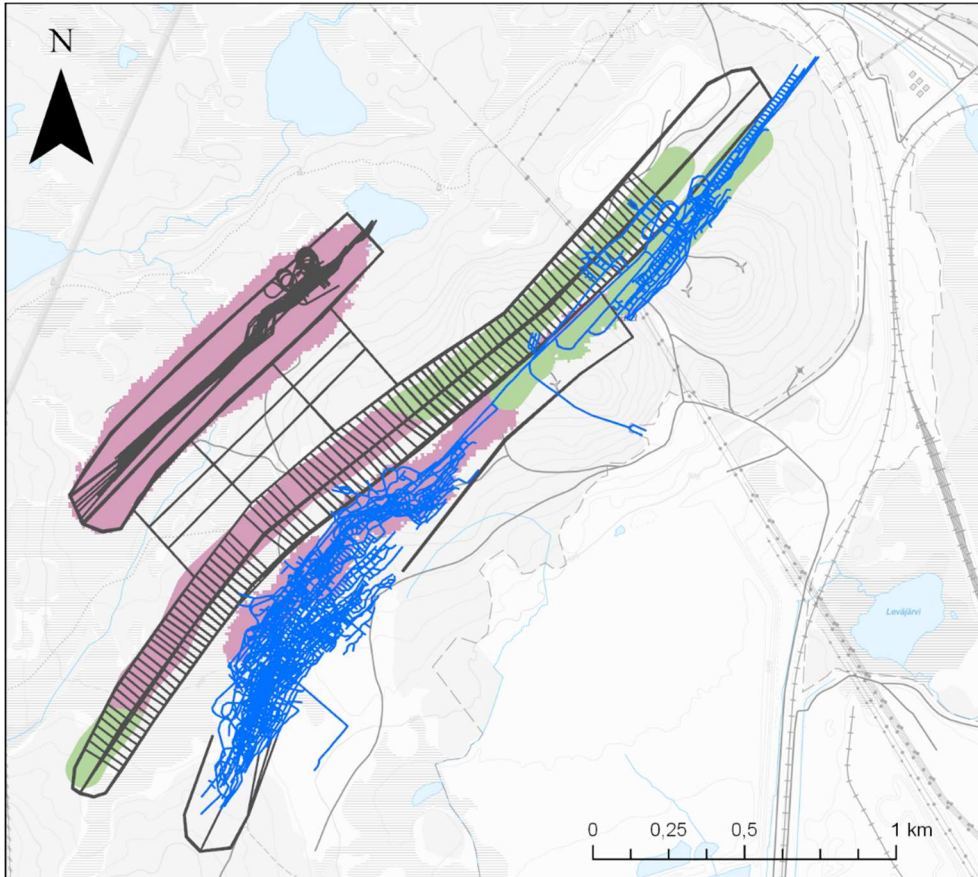
Olemassa olevan maanalaisen kaivoksen geometria ja sijainnit sekä suunniteltu avolouhos ja maanalainen kaivos esitetään kuvassa Figur 6-4. Kaksi kaivosmallia on laadittu, yksi malli, joka sisältää vain olemassa olevan vesitäteisen kaivoksen A-vyöhykkeellä sekä malli, joka kuvaa suunniteltujen kaivosten ja avolouhosten jakautumista A-, B- ja D-vyöhykkeille täysin louhitun kaivoksen tapauksessa (Figur 6-4). Tarkempi kuvaus kaivoksen tämänhetkisestä tilanteesta löytyy Teknisestä kuvauksesta (Liite A). Koska malmioiden todelliseen jakautumiseen syvällä liittyy epävarmuustekijöitä, on 17.6.2021 päivätyn kaivoksen mallin (Krekula 2021) perusteella tehty useita konservatiivisia oletuksia kaivoksen tulevista louhintatiloista. Skenaariossa, joka on simuloitu tavoitteena kvantifioida pohjavesivaikutuksia ja maanalaisesta louhinnasta ja avolouhoksesta peräisin olevia vesimääriä, oletetaan, että kaikki toimilupa-alueilla olevat malmiot on louhittu kokonaan 800 metrin syvyyteen saakka. Tämän oletuksen myötä simuloidaan konservatiivinen tilanne toiminnan pohjavesivaikutuksen osalta. Louhitun malmion kuvaamiseksi vastaavilla A-, B- ja D-vyöhykkeillä kunkin malmion osalta on tehty erilaisia oletuksia, jotka kuvataan alla.

A-vyöhykkeellä olevia maanalaisen kaivoksenkaivospaikkoja, kuiluja ja louhintatiloja, joille on olemassa asettelumalli (Copperstone/Viscaria old mine.pdf -materiaalin mukaisesti), on laajennettu yhdistämällä uusia kohteita olemassa olevaan asettelumalliin niin, että koko malmio 800 metrin syvyyteen saakka tulee louhituksi. B-vyöhykkeelle ei ole tehty asettelumallia. B-vyöhykkeen malmion onkaloiden kuvaamiseksi kaivosmallissa on louhintatilojen ympärille muodostettu kiinteä alue (Krekula, 2021) ja tämä alue on määritelty maanpinnasta 800 m syvyyteen. Vaakasuunnassa sitä rajaa malmion pituusakselin suuntaisten louhintatilojen maksimipituus ja malmion pituusakseliin nähden kohtisuorassa olevien louhintatilojen enimmäispituus. Tämän kiinteän alueen sisällä kaivokseen on sen syvyyssuunnassa sijoitettu läpimitaltaan 30 m² suuruisia alueita 25 metrin välein. Jokaiselle 25 metrin tasolle malmion poikki sijoitetaan alueita 25 metrin välein, ks. Figur 6-5. D-vyöhykkeellä on sovellettu samaa periaatetta kuin B-vyöhykkeellä eli malmion ympärille on muodostettu kiinteä alue, joka rajataan maanpinnasta 800 metrin syvyyteen saakka samalla tavalla kuin B-vyöhykkeellä. Tosin D-vyöhykkeen maanalaiselle kaivokselle on olemassa vanhempi asettelumalli (perustuu Copperstonelta saadun "Viscaria new mine.pdf" -tiedoston mukaiseen kaivoksen asettelumalliin). Tätä asetelua sovellettiin alkuperäisissä laskelmissa, kun vajoamisen ja sisäänvirtauksen laskentaperiaatteita testattiin mallissa. Koska tämä asettelu otettiin käyttöön MIKE Urbanissa ensimmäisten testien jälkeen, tämä asettelu on muodostanut perustan D-vyöhykkeen paikkojen kuvaukselle. Käyttäen perustana D-vyöhykkeen kaivoksen varhaista asettelumallia, joka käsitti vain pienen osan malmiosta, 25 metrin välein on lisätty alueita samalla periaatteella kuin D-vyöhykkeellä, joten koko malmion voidaan olettaa tulleen louhituksi 800 metrin syvyyteen saakka. Tasokuva D-vyöhykkeen alueista näkyy kuviossa Figur 6-4. Kaikkien malmioiden alueet kuvataan kytketyssä MIKE SHE-MIKE URBAN -mallissa putkiksi, joissa vallitsee ilmakehän paine ja joihin veden annetaan virrata ympäröivän kallion ominaisuudet huomioon ottaen.

Näiden onkaloiden tarkkaa sijaintia kalliossa ei ole määritetty, mutta niiden kokonaistilavuuden arvioidaan olevan noin 2 215 m³ (Krekula 2021). Jokaisen malmion reunasta ja siitä 100 m ulospäin on siis syntynyt kallioon onkaloita, joiden kokonaistilavuudeksi on arvioitu 2215 m³. Nämä onkalot on kuvattu mallissa kutakin malmiota pitkin sijoittuvina alueina ja ne on sijoitettu samalle tasolle kuin malmion sisällä olevat alueet, eli alueet jokaisella 25 metrin tasolla yhdistävät alueet, jotka sijaitsevat 100 m malmion ulkopuolella, ks. Figur 6-5. Onkalot kuvataan MIKE Urbanissa putkina, joiden poikkileikkausala on noin 30 m².

Malmioiden alueiden, kuilujen ja louhintatilojen lisäksi louhitaan malmioiden välinen alue D- ja B-vyöhykkeellä. Näitä alueita käytetään yhteydenpitoon malmioiden välillä ja niiden oletetaan koostuvan kahdesta rinnakkaisesta sijainnista joka sadannen syvyysmetrin kohdalla. Näiden sijaintien väliin suunnitellaan neljää poikittaissijaintia sekä joukkoa ohituskuiluja, tuuletuskuiluja ja kalliotiloja. Kaikkien kalliossa kahden malmivyöhykkeen välissä olevien onkaloiden oletetaan yhdessä muodostavan 240 Mm³ kokoisen tilan. Näitä onkaloita kuvataan kytketyssä MIKE SHE – MIKE URBAN -mallissa myös putkiksi, joissa on ilmakehän paine. Putkien sijainti on esitetty kuviossa Figur 6-4.

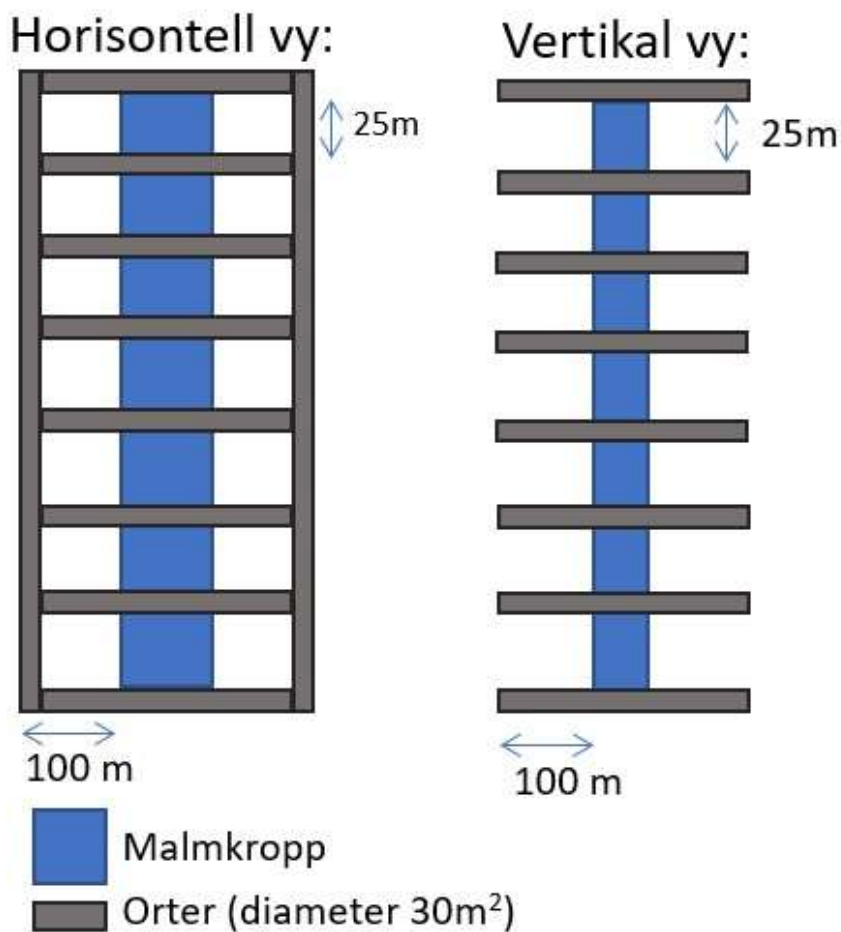
Avolouhosta käytetään jokaisessa malmiossa kuvion Figur 6-4 osoittamalla tavalla. A- ja B-vyöhykkeiden avolouhokset näkyvät skenaariolaskelmissa, jotka heijastavat ns. kolmosvaihetta eli täysin louhittua kaivosta osittain uudelleen täytettynä. B-vyöhykkeen avolouhokset ja osia A-vyöhykkeestä on kuvattu kanavina, joiden leveys on 120 m ja syvyys 60 m. Myös avolouhosten enimmäispituus ennen täyttöä on esitetty kuviossa Figur 6-4. Avolouhokset on kuvataan MIKE SHE -mallissa alueiksi, joilla on muunnettu topografia, joka vastaa suunniteltujen avolouhosten laajuutta ja geometriaa ja jossa on sisäiset reunaehdot kaikissa avolouhoksen sisällä olevissa laskentasoluissa, mikä johtaa siihen, että avolouhokset ovat merkitty kuiviksi.



Utbredning: befintlig samt planerad underjordsgruva och dagbrott

- befintlig underjordsgruva
- planerad underjordsgruva
- dagbrott
- igenlagt dagbrott i fas 3

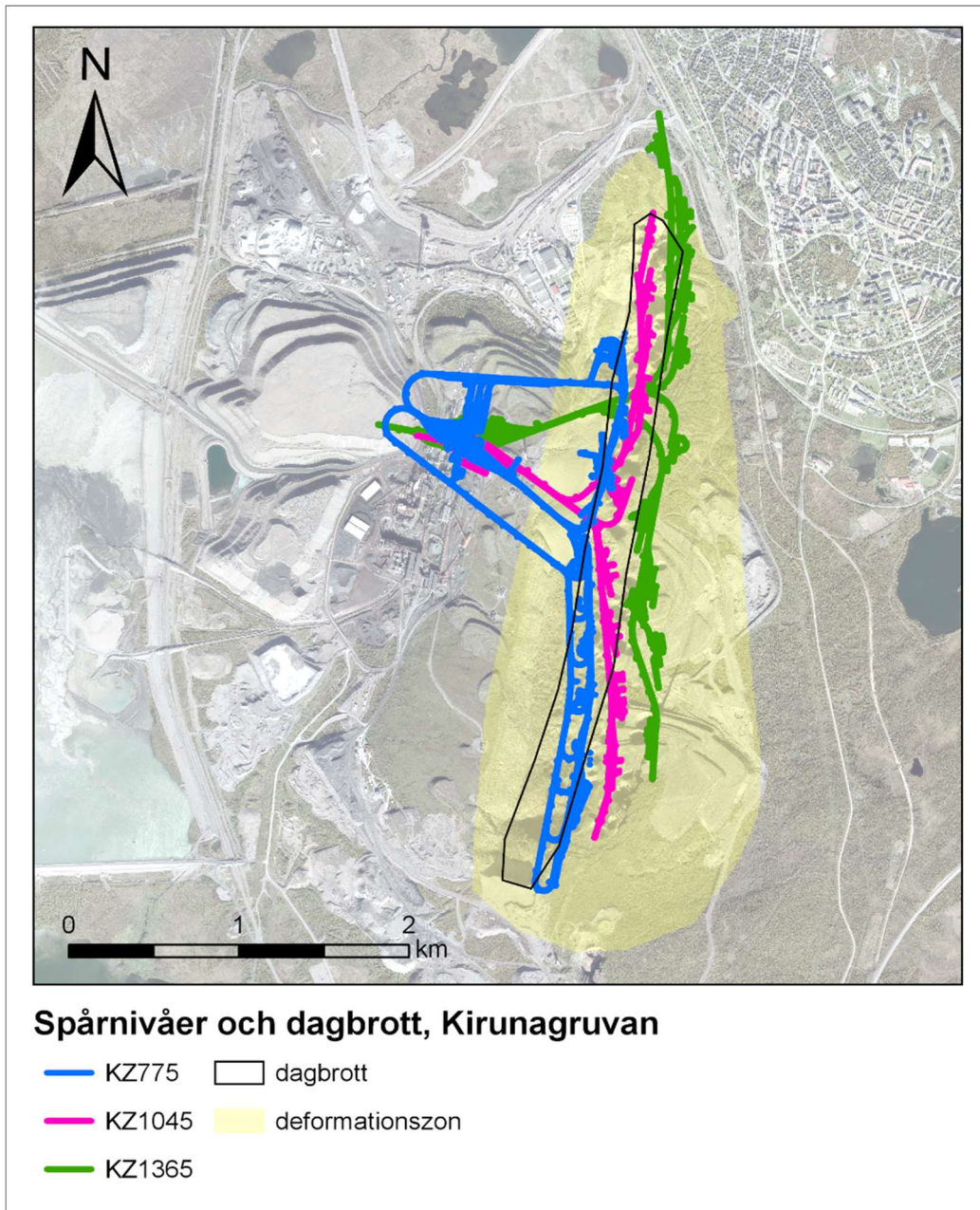
Kuva 6-4. Tasokuva, jossa näkyy olemassa olevan vedellä täytetyn kaivoksen laajuus A-vyöhykkeellä, suunniteltu maanalainen kaivos B- ja D-vyöhykkeillä ja kolme suunniteltua avolouhosta A-, B- ja D-vyöhykkeillä. Vihreä väri osoittaa ne avolouhosten osat, jotka täytetään vaiheessa 3. B- ja D-vyöhykkeiden malmioiden välissä on tunneleiden ja kalliotilojen alue liikennettä ja infrastruktuuria varten.



Kuva 6-5. Yksityiskohtainen vaaka- ja pystysuuntainen näkymä paikkojen sijainnista kunkin malmion alueella. Kunkin tason alueiden oletetaan olevan yhteydessä tunneleihin, jotka sijoitetaan 100 metrin päähän kunkin malmion reunasta.

6.2.5 Kiirunavaaran kaivos

Kiirunavaaran kaivos on kuvattu yleisluonteisesti aluemallissa siten, että laskentasolut, jotka ovat yhteydessä kaivoskäytäviin ja tulovyöhykkeisiin kolmessa juonnekerroksessa (nimeltään 775, 1045 ja 1365dat), on määritetty sisäisiksi juoviksi. Vesi valutetaan pois kaivoksen kanssa yhtenevässä kenoissa vastaavan juonnekerroksen tasalla. Kaivoksen laajuus kullakin tasolla näkyy kuviossa Figur 6-6. Kuvassa näkyy myös kaivostoiminnan seurauksena syntyneen muodonmuutosvyöhykkeen laajuus. Tämän vyöhykkeen laajuus ja ominaisuudet on määritetty aiemmissa mallitutkimuksissa, jotka on tehty LKAB:n ympäristöarvioinnin pohjalta laajennetun kaivostoiminnan juonnetasolla 1365 (Geosigma 2018). Aluemallin perustapauksessa on käytetty samoja tutkimuksessa (Geosigma/Intera 2013) raportoituja arvoja.



Kuva 6-6. Juonnetasot ja muodonmuutosvyöhyke Kiirunan kaivoksessa. Muodonmuutosvyöhykkeen laajuus tutkimuksen Geosigma/Intera (2013) mukaan.

7 Kalibroinnin ja herkkyyksianalyysin metodiikka

Tässä luvussa kuvataan pintavesimallin (MIKE HYDRO River yhdistettynä NAM-malliin sekä Rautasjoen Mike 21) ja integroidun pinta- ja pohjavesimallin (MIKE-SHE ja MIKE HYDRO River) kalibroitintprosessia ja herkkyyksianalyysiä. Mallityökalujen yleinen metodiikka ja kuvaus esitetään luvuissa 2 ja 3. Kalibroinnin tarkoituksena on säätää mallin syöttöparametreja niin, että mallin tulokset vastaavat mitattuja arvoja parhaalla mahdollisella tavalla. Pintavesimallin kalibroinnin osalta metodiikka kuvataan kohdassa 7.1 ja integroidun pinta- ja pohjavesimallin osalta kohdassa 7.2. Syy siihen, miksi kalibroitintmetodiikkaa on kuvattu kahdessa erillisessä luvussa, on, että tarkasteltavat tiedot ja prosessit vaihtelevat mallien välillä. Lisäksi kalibroitintavoitteet voivat vaihdella riippuen mallin käyttötarkoituksesta ja siitä, onko kyseessä puhdas pintavesimalli vai integroitu pinta- ja pohjavesimalli. Pintavesimallin kalibroinnin tulokset esitetään luvussa 8, kun taas tulevien skenaarioiden tulokset esitetään luvussa 9. Integroidun pinta- ja pohjavesimallin tulokset esitetään luvussa 0, ja erilaisten tyyppivuosien ja tulevien skenaarioiden tulokset esitetään luvussa 11.

On tärkeää huomata, että pintavesimallien tulokset, jotka raportoidaan luvussa 9, on saatu yksinkertaistetulla alueen pintavesidynamiikalla. Huomioon otetaan ennen kaikkea pinnallinen pohjavesivarasto maakerroksissa, koska pohjavedestä tuleva pohjavirtaus myötävaikuttaa virtaukseen vesistöissä. Syvällä olevan kallion ja pinta- ja syväpohjaveden kierron yksityiskohtia sitä vastoin ei oteta huomioon. pintavesimallissa. Luvuissa 10 ja 11 raportoidaan myös alueen vesistöjen laskennalliset virtaamat. Luvuissa 10 ja 11 raportoidut tulokset ovat kuitenkin tulosta pinnalla, maaperässä ja kalliossa tapahtuvista integroiduista prosesseista. Pinnalla tapahtuvat valumisprosessit, imeytyminen ja pohjaveden muodostuminen maakerroksissa sekä pinta- ja syväpohjaveden välinen vaihtuminen kuvataan hajautettujen ominaisuuksien ja ajan mukaan vaihtelevien prosessien kautta integroidussa pinta- ja pohjavesimallissa. Lasketut pintaveden virtaamat alueen pintavesihavaintopisteissä vaihtelevat sen mukaan, miten ne lasketaan ja mitä prosesseja laskelmiin sisältyy. Työn kuluessa pintavesimallin virtaustuloksia on verrattu vastaaviin integroidun pinta- ja pohjavesimallin tuloksiin, jotta eri mallikonsepteissa saavutettaisiin mahdollisimman yhtenäiset tulokset.

Yksinkertaistaen voidaan todeta, että puhtaan pintavesimallinnuksen kalibroitintvaatimukset pintavesimallissa ovat korkeammat kuin integroidussa pinta- ja pohjavesimallissa. Tämä johtuu siitä, että integroidun pinta- ja pohjavesimalli on monimutkaisempi siinä mielessä, että tässä mallissa on arvioitava vesitaseen, pohjaveden korkeuden sekä tulo- ja ulosvirtausdynamiikan vuotuisten ja vuosien välisten vaihteluiden yhdistettyjä tuloksia. Integroidun pinta- ja pohjavesimallin kunkin komponentin kalibroitintvaatimukset on siksi yleensä asetettu alhaisemmiksi, jotta voidaan ottaa huomioon kytketyn hydrologisen ja hydrogeologisen järjestelmän kaikki osat. Lisäksi on huomattavasti monimutkaisempaa määrittellä malligeometrioita maanpinnan alapuolelle, ja siksi pohjavesimallit yksinkertaistavat todellisuutta enemmän kuin puhdas pintavesimalli. Tämä merkitsee myös sitä, että kytketyn pinta- ja pohjavesimallin kalibroitintvaatimukset ovat yleensä alhaisemmat.

Integroidun pinta- ja pohjavesimallin laskettuja pintavesivirtaamia ei ole käytetty vedenlaadun laskelmiin, vaan niiden arvioinnin tarkoituksena on ollut analysoida, miten tuleva kaivostoiminta ja sen vaikutukset pohjavesijärjestelmään heijastuvat alueen vesistöjen pintaveden virtaamiin.

7.1 Pintavesimalli

Tässä osassa kuvataan virtaaman ja veden laadun mittaamiseen käytettävän pintavesimallin kalibroitintprosessi (2.1.1). Osa sisältää MIKE HYDRO Riverin hydrologisen kalibroitintprosessin liitettyä NAM-malliin (7.1.1), vedenlaadun malliin (7.1.2) sekä MIKE 21:een, joka kuvaa leviämistä Rautasjokeen (7.1.3).

7.1.1 Pintavesimalli

Pintavesimalli, jonka eri numeeristen työkalujen väliset yhteydet kuvataan luvussa 2, kalibroitiin virtaustietojen perusteella. Virtausmittarit sijaitsevat neljässä kohdassa: AVA01, AVA02, AVA15 ja AVA14 (Figur 4-12). Kolmen ensimmäisen pisteen mittaukset aloitettiin huhtikuussa 2018, kun taas AVA14:ää alettiin mitata vasta elokuussa 2020. Tämä antaa 898 päivää kalibrointiin AVA01:ssä, AVA02:ssa ja AVA15:ssä ja 61 päivää asemalla AVA14.

Sellaisten alueiden kalibroinnissa, joilta puuttuu paikallisia mittaustietoja, käytetään SMHI:n S-HYPE-mallin mallinnettuja virtaustietoja (<https://www.smhi.se/data/hydrologi/vattenwebb>). S-HYPE:n tietoihin ei ole tehty asemakohtaisia korjauksia (kalibroitu havaintojen perusteella), vaan S-HYPE-mallin kalibrointi perustuu muihin alueisiin, joilla katsotaan olevan samanlaiset hydrologiset ominaisuudet.

Ensimmäisessä vaiheessa pintavesimallin kalibroimiseksi käytetään automaattista kalibroitirutiinia, joka on sisäänrakennettu numeeriseen NAM-työkaluun. Tämä kalibroitirutiini tekee ensimmäisen arvion syöttöparametrien kohtuullisista arvoista. Automaattinen kalibroitirutiini lähtee syöteparametrien oletusarvoista ja vertaa mallin tuloksia havaintoihin RMSE:n (root-mean-square error) ja vesitaseen suhteen. Sen jälkeen rutiini arvioi välttämättömät korjaukset, jotka on tehtävä parametriasetuksiin, ja toistaa proseduurin ennalta määrätyn iteraatiomäärän ajan.

Ensimmäistä vaihetta seuraa manuaalinen kalibrointi mallin hienosäätämiseksi. Manuaalinen kalibrointi on usein välttämätön vaihe, jotta malli saadaan kuvaamaan paikkakohtaisiaprosesseja ja vuotuista virtaamien ja tasojen dynamiikkaa. Tämä johtuu siitä, että automaattisen kalibroitirutiinin tarkoituksena on tuottaa malli, joka toimii hyvin yleisten kriteerien, esim. kertyneen virtaaman ja RMSE:n osalta, ja tämä voi tuottaa mallin, joka ei toista kiinnostavan hydrografian tiettyjä osia. Tässä työssä painotettiin mallin kykyä toimia hyvin simuloitaessa pieniä virtaamia ja vähäisemmässä määrin huippuja suurten virtaamien aikana. Tähän vaadittiin manuaalinen kalibrointi.

Lopullisesti pintavesimallin kalibrointiprosessi hoidetaan ensisijaisesti MIKE Hydrossa. Tämä vaihe on myös iteratiivinen prosessi, jossa Manningin kertoimen arvoa säädetään lisäämään tai laskemaan mallinnettuja vedenkorkeuksia vastaamaan paremmin havaittuja tasoja neljässä havaintopisteessä. Manningin kerrointa käytetään kuvaamaan vesistön pohjan epätasaisuutta. Manningin kertoimen suuruus vaihtelee sen mukaan, onko kyseessä tasainen pohjapinta vai onko pohjalla esimerkiksi paljon kasvillisuutta.

Kun malli on kalibroitu tämänhetkisten tietojen mukaan, sitä käytetään seuraavassa vaiheessa erilaisten tulevaisuuden skenaarioiden laskemiseen. Näissä skenaarioissa analysoidaan pintavesijärjestelmän vaikutuksia ilmastoon (kuivat, normaalit ja kosteat jaksot), maanalaiseen kaivostoimintaan ja ulkoiseen järjestelmään liittyviin prosesseihin.

7.1.2 Vedenlaatu

On olemassa riski, että kaivostoiminta voi vaikuttaa ympäröivään ympäristöön (SGU 2020). Sitä, miten suuri vaikutus kaivostoiminnalla voi olla ympäristöön, säännellään lailla ja se voi vaihdella riippuen esimerkiksi siitä, mitä louhitaan, ympäröivästä luonnosta, suojelluista kohteista ja ihmisten läheisyydestä (Karlton 2008). Metallien ja muiden aineiden päästöt tapahtuvat pinta- ja pohjavesien kautta ja niillä on yleensä suurin vaikutus lähivesistöihin (SGU 2020). Viscarian vedenlaadun arvioimiseksi on kehitetty aineen kuljetuksen malli, joka liittyy myös esitettyyn hydrologiaan. Hydrologiamalli koostuu kalibroidusta pintavesimallista, joka on kuvattu kohdissa 2.1, 6.1 ja 8.1, jota käytettiin vedenlaadun laskennassa sisältyvien vesistöjen varrella. Kuljetusmalli koostuu advektio-dispersiomallista (AD-malli), joka perustuu yksilotteiseen AD-yhtälöön (yhtälö 1). Yhtälö kuvaa konservatiivisten aineiden kulkeutumista ja olettaa, että aine on täysin sekoittunut vesistön poikkileikkaukseen. Pitoisuuslaskelmat tehdään jokaisessa aikavaiheessa ja ne edellyttävät siksi lähtötietoja (tuloksia) hydrodynamisesta mallista ajallisesti ja paikallisesti. AD-yhtälö on seuraava:

$$-AKC + qC_2 = \frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (1)$$

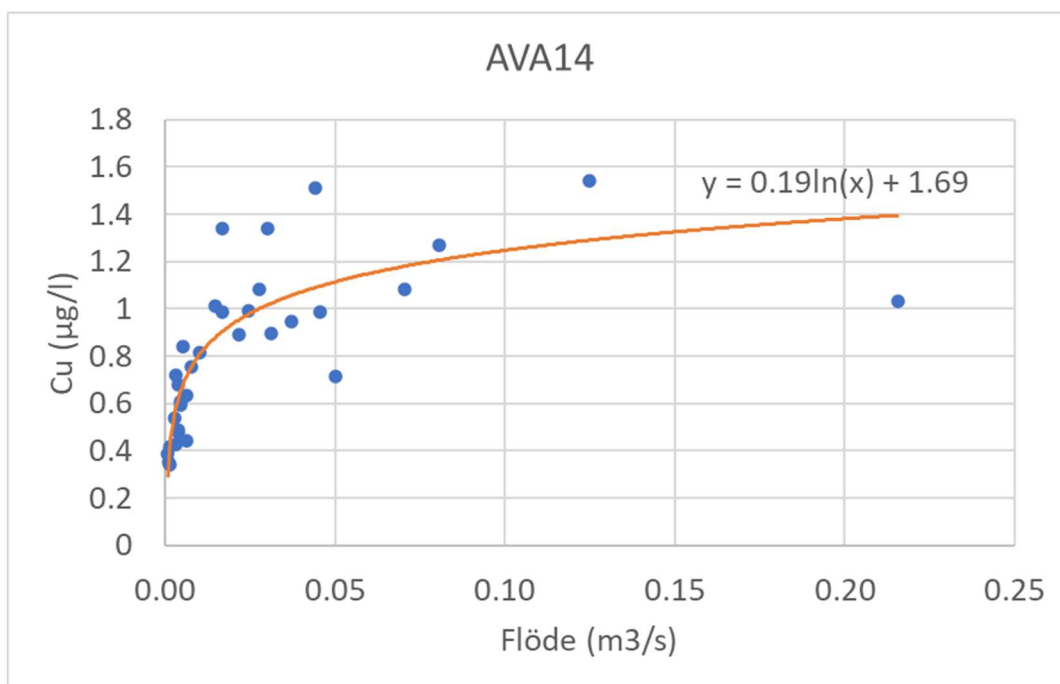
Yhtälössä 1 termi $\frac{\partial QC}{\partial x}$ kuvaa advektiivista kuljetusta, $\frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right)$ kuvaa diffusiivista kuljetusta ja $\frac{\partial AC}{\partial t}$ kuvaa pitoisuuden muutosta. C, kuvaa konservatiivisen aineen pitoisuutta, C₂ on lähde, D on dispersiokerroin, K on hajoamiskerroin, t on aika, x on etäisyys, q on virtaama ja A on poikkileikkauspinta-ala.

Valmiissa AD-laskelmissa vesikemian validointi on tehty kuudessa havaintopisteessä kuudelle eri aineelle. Kuusi havaintopistettä ovat AVA01, joka sijaitsee alavirtaan Tvillingjärven-järvijärjestelmän suuremman järven luusuasta, AVA14 Pahtajoen yläjuoksulla, AVA02 Pahtajoessa E10:n kohdalla, AVA15 Tvillingjärven-järvijärjestelmän yläjuoksulla, KVA145 Luossajärvellä ja KVA179, Pahtajoen alajuoksulla juuri ennen Rautasjokeen laskemista (kohta 4.2, Figur 4-12). Validointituloksiin sisältyvät koboltti (Co), kupari (Cu), kloridi (Cl), sinkki (Zn), uraani (U) ja sulfaatti (SO₄). Validointi on tehty käyttämällä mitattuja hetkellisiä arvoja, joissa on otettu ajoittain vesinäytteitä kemiallista analyysiä varten muun muassa kuudesta validoinnissa käytetystä aineesta. Mallissa kuitenkin lasketaan pituuksia jatkuvasti, ja tämä on otettava huomioon, kun laskettuja pitoisuuksia verrataan mitattuihin arvoihin.

Jotta aineiden kuljetusta voitaisiin mallintaa parhaalla mahdollisella tavalla, on tarpeen esittää osuus eri osa-alueilta. Koska tällaista varten on harvoin mahdollista saada havaintoja kaikilta simuloitavilta ajanjaksoilta, tarvitaan malliratkaisu. Yleinen tapa ratkaista asia on regressioanalyysi, jossa riittävällä määrällä virtaus- ja pitoisuustietoja voidaan löytää virtauksen ja pitoisuuden välinen yhteys (Godsey et al. 2009). Yhteyttä kuvataan matemaattisella funktiolla, joka parhaiten sopii havaittuihin tietoihin. Esimerkiksi Pahtajoen yläosassa sijaitsevalle havaintopisteelle AVA14 on mitattu pitoisuudet ja virtaukset (Figur 4-12). Piirtämällä pitoisuudet virtauksia kohden, saadaan kuvio, ja funktio voidaan johtaa käyrien sovittamisen avulla.

Käyrien sovittamisen tavoitteena oli löytää mahdollisimman korkea R²-arvo, mikä tapahtui testaamalla erilaisiafunktioityyppejä (esim. teho-, lineaarinen ja eksponentiaalinen funktio). R² on tilastollinen mitta siitä, miten hyvin matemaattinen funktio sopii yhteen havaittujen arvojen kanssa, jolloin 1 on täydellisesti sovitettu funktio ja 0 ilmaisee, ettei yhteyttä ole lainkaan. Suurimman R²-arvon antanutta funktioityppiä käytettiin lopuksi kuvaamaan pitoisuusvaihteluiden ja virtausten välistä yhteyttä. Figur 7-1 esittää esimerkin AVA14:stä, jossa R² oli sovittamisen jälkeen 0,69, mikä ilmaisee vahvan korrelaation virtauksen ja pitoisuuden välillä.

Samantapaisiaregressioanalyysijä on tehty uraanille, sinkille, koboltille, sulfaatille, kloridille, kalsiumille ja liuenneelle orgaaniselle hiilelle sekä muilla laskelmissa käytetyillä havaintoasemilla (esim. KVA176, AVA17, AVA15, AVA25). AVA16:lta oli pitoisuustietoja mutta ei mitattuja virtaustietoja, joten niiden sijaan käytettiin mallinnettuja virtaustietoja. Näiden matemaattisten funktioiden avulla malli voi interpoloida aineen pitoisuuden aikajaksoilta, joilta mittauksia ei ole. Jotta regressioanalyysimenetelmällä saavutettaisiin parhaat mahdolliset tulokset, on erittäin tärkeää, että havaintoja on riittävästi ja että ne ovat luotettavia. Tällä hetkellä regressioanalyysin tulosten katsotaan olevan tyydyttäviä kalibrointitulosten perusteella (ks. kohta 8.1). Mallia voidaan jatkossa parantaa tekemällä uusia regressioanalyysijä, jos saatavilla on lisää havainnointitietoja.



Kuva 7-1. Mitattu Cu-pitoisuus ja mitatut virtaamat AVA14:ssä.

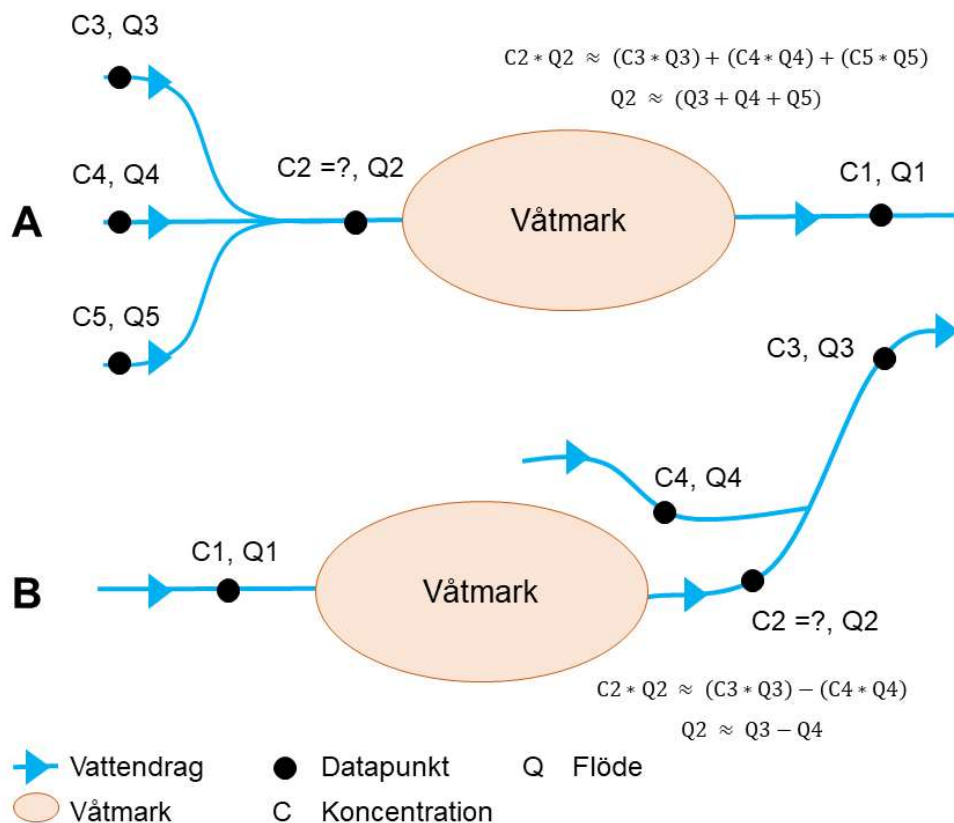
Alueella on kolme suurehkoa kosteikkoa, joiden läpi vesiväylät kulkevat (Figur 4-13). Kosteikoilla on taipumus muuttaa veden kemialla tulo- ja poistokohdan välillä fysikaalisista, kemiallisista, biologisista ja biokemiallisista prosesseista riippuen. Näiden prosessien vaikutukset vaihtelevat aineen ja sijainnin mukaan. Yleisesti ottaen kosteikkojen läpi kulkevien metallien pitoisuudet ovat pienentyneet (Matagi et al. 2014; Mohammed et al. 1998; Lidman et al. 2014; Mohammed et al. 2017). Metallit saostuvat mm. humusaineilla ja hydroksideilla ja sitten adsorptiolla, joka sitoo vapautuneet metallit sedimenttien pintoihin ja kiinnittyy kosteikkoihin. Myös rapautuvien aineiden (esim. magnesium) pitoisuuden pienenemistä voidaan havaita tulo- ja poistokohdan välillä. Koska kosteikot eivät sisällä rapautunutta kivennäismaata, kosteikkojen vesiosuus on taipuvainen laimentamaan pitoisuutta (Lidman et al. 2014; Jutebring Sterte et al. 2021).

Sen arvioimiseksi, millainen vaikutus kosteikoilla on vesistöjen kemiaan, kosteikkojen tulo- ja poistokohdan kemialla on vertailtu kuukausittain. Pitoisuuden erolla kosteikon tulo- ja poistokohdan välillä on käytetty kuukausittaisista muutoskerrointa, joka vastaa näiden kosteikkojen pitoisuuksia vähentävien eri prosessien yhteisvaikutusta. Koska tietoja ei ollut saatavana suoraan kosteikon tulo- ja poistokohdasta, pitoisuudet on arvioitu pisteistä ylä- tai alavirtaan mitatuista tiedoista ja niitä on painotettu virtauksen perusteella (Figur 7-2). Kolme kosteikkojen muutoskerrointa perustuvat asemiin, jotka on lueteltu taulukossa **Tabell 7-1**. Kaikki mallin kemialliset tulokset on säädetty näiden muutoskerroimien mukaisesti.

Taulukko 7-1. Ennen ja jälkeen kolmea kosteikkoa sijaitsevat asemat, joita käytettiin vesistöjen pitoisuuden kuvaamisessa. Koska joistakin tulo-/poistokohdista puuttui tietoja, ne pohjautuvat pisteestä ylä- ja alavirtaan sijaitsevien asemien tilavuuspainotettuun keskiarvoon.

	Tulokohta perustuen asemaan	Poistokohta perustuen asemaan
Kosteikko A	AVA15, AVA16 ja Luossajärvi*	AVA01
Kosteikko B	KVA145	AVA02 ja AVA14
Kosteikko C	AVA01	KVA179 ja AVA02

*Myös asemalta AVA16 tapahtuu virtaamaa, mutta siitä on harvoja havaintoja. Koska tämän vesistön panos on pieni, sen ei oleteta vaikuttavan pitoisuuteen.



Kuva 7-2. Kaaviokuva, jossa näkyy kaksi esimerkkiä tuntemattomien pitoisuuksien laskemisesta. Kaksi esimerkkiä perustuvat kosteikkoihin A ja B (Tabell 7-1).

7.1.3 Leviämismalli MIKE 21 Rautasjoelle

Jotta vesistön mallinnetut pinnan tasot vastaisivat mitattuja arvoja, on Rautasjoen kitkahäviöt kalibroitu Manningin M:llä, joka on vesistön pohjan epätasaisuuden kuvaaja. Kalibrointi tehdään ajanjaksolta, jolle on mitattu virtaamia ja tasoja. Jos vesistön pinnat sopivat yhteen tietyn virtaustilanteen havaintojen kanssa, oikea nopeus vesistössä simuloidaan samalle virtaamalle. Virtausnopeus vaikuttaa myös vesistön pohjaleikkausjännitykseen. Nopeus ja pohjaleikkausjännitys puolestaan vaikuttavat vesistössä tapahtuvaan sekoittumiseen.

Dispersiokerroin on toinen sekoittumisen nopeutta mittaava mittari. Tämä parametri kalibroidaan arvioimalla jokaisessa kalibroinnin vaiheessa nopeus kertoimen eri arvoille. Tämä parametri kalibroidaan vertaamalla mallinnettua dispersiota tehdyn merkkiainekokeen tuloksiin kertoimen eri arvoilla virtausreitillä varrella.

Dispersiokerroin arvioidaan yleensä empiirisellä suhteella

$$D = K \times u \times h \quad (2)$$

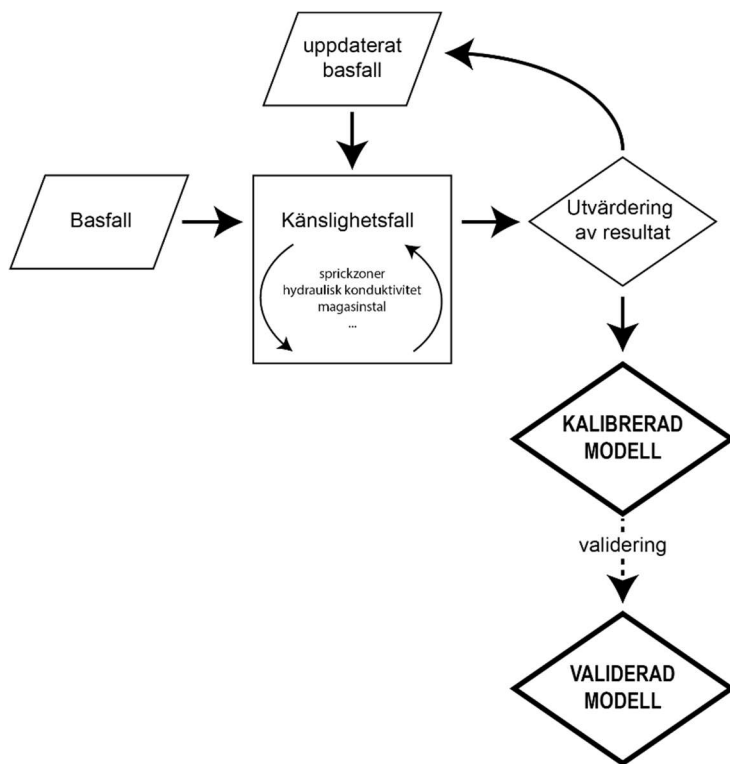
Yhtälössä $2 K$ on vakio, joka luonnollisissa heikosti mutkittelevissa vesistöissä on yleensä välillä 0,4 ja 0,8, u on veden leikkausnopeus ja h on veden syvyys (Fischer et al. 1979). Tässä tutkimuksessa paikallista vaihtelua ei otettu huomioon kohteiden u ja h osalta, vaan sen sijaan käytettiin niiden keskiarvoja 2D-mallialueella. Syy tähän on, että se vaatisi paljon yksityiskohtaisempaa mittausohjelmaa, jolla saavutettaisiin vain pieniä eroja tuloksissa. Tämä johtuu ensi sijassa mallinnetusta suhteellisen lyhyestä jokiosuudesta, eli keskiarvot ovat hyviä likiarvoja näille muuttujille paikallisesti.

7.2 Integroitu pinta- ja pohjavesimalli

Koska maaperän ja kallion ominaisuuksien tietopohja sekä pohjavesihavaintojen aikasarjat paikalta ovat rajalliset, on kalibroituvuudessa suuri painoarvo asetettu herkkyysanalyysille, joiden tavoitteena on kvantifioida mallin herkkyys erilaisille parametrivalinnoille. Tekemällä suuri määrä herkkyysanalyyskejä, joissa asetetaan paino järjestelmän eri osiin ja joissa yhtä parametria kerrallaan muutetaan kohtuullisissa fysikaalisissa rajoissa, saadaan hyvä kuva siitä, miten malli kuvaa alueella vallitsevia hydrologisia ja hydrogeologisia prosesseja ja mihin epävarmuustekijöihin nämä tulokset liittyvät.

Tietoperustaa alueen vesistöjen virtauksista pidetään suhteellisen hyvänä, koska tietoa on useista alueen pisteistä ja kaikilta vuodelta. Pitkien pohjaveden korkeustasoista kertovien aikasarjojen saatavuus on kuitenkin rajallisempaa. Kivimatriisin hydrogeologiseen kuvaukseen liittyy epävarmuustekijöitä, ja näiden epävarmuustekijöiden vähentämiseksi on integroidun pinta- ja pohjavesimallin kalibroinnin yhteydessä tehty laaja kiven hydrogeologisten ominaisuuksien herkkyysanalyysi. Kalibroinnin tarkoituksena on ollut saavuttaa paikkakohtainen vesitase, jossa havaittu ja laskettu valuma sekä pinta- ja pohjaveden välinen vuorovaikutus ovat havaintojen perusteella saatavilla olevan tiedon ja käsitteellisen ymmärryksen avulla alueen hydrologiasta ja hydrogeologiasta laadittuja. Tavoitteena on osin ollut saavuttaa vesistöihin vuosittaista vaihtelua heijastava dynamiikka ja toisaalta se, että vuotuinen valumamäärä on havaintojen mukainen. Lisäksi pohjavesihavainnot kallion porausrei'issä ja veden täyttämässä kaivoksessa ovat olleet tärkeä tuki pohjavesijärjestelmän kalibroinnille maaperässä ja kalliossa. Rajallisen lähtöasetelman vuoksi yhtenäisen pinta- ja pohjavesimallin ainoa kvantitatiivinen kalibrointitavoite koskee alueen vesistössä kertyvää valumamäärää, jossa tavoitteena on saavuttaa laskennallinen valumamäärä, joka ei poikkea enempää kuin 20 % havaituista arvoista.

Figur 7-3 sisältää kaaviokuvan kalibroituvuuden prosessin metodista. Kalibroinnissa keskitytään pääasiassa niihin hydrologisiin ja hydraulisiin ominaisuuksiin (parametreihin), jotka on tunnistettu priorisoiduiksi käsitteellisen laatimisen yhteydessä (ks. luku 5). Ensimmäinen laskentatapa (perustatapa) määritellään parhaan saatavissa olevan syöttötiedon ja vallitsevan käsitteellisen ymmärryksen perusteella. Tämä luvussa 1 numeerisesti kuvattava perustatapa päivitetään sitten askel askeleelta herkkyysanalyysien tulosten perusteella, joissa eri malliparametreja tarkastellaan systemaattisesti ja testataan, miten ne vaikuttavat mallin tuloksiin ja niiden yhtäpitävyyteen havaintojen kanssa.

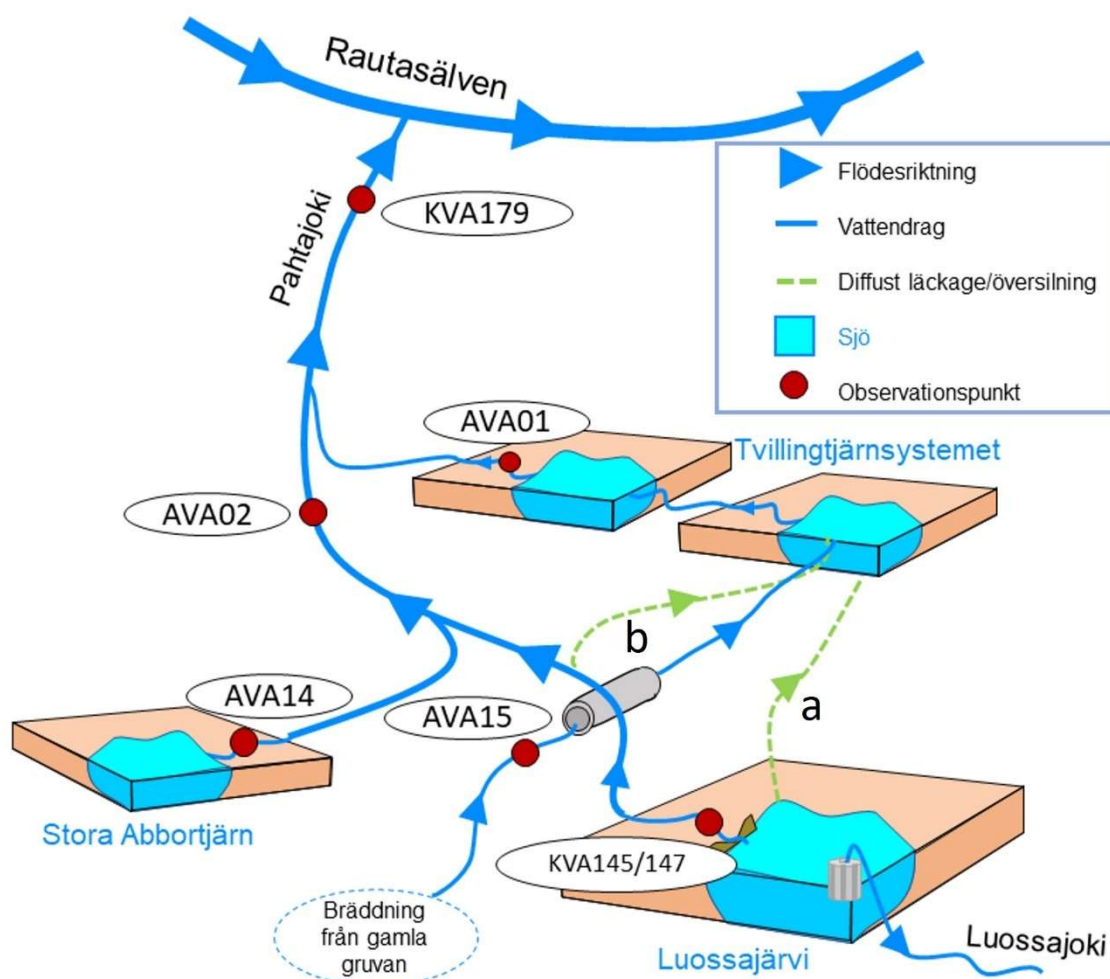


Kuva 7-3. Kaaviokuva kalibrintimenetelmästä ensimmäisestä perustapauksesta, joka perustuu parhaaseen mahdolliseen syötetietoon, kalibroituun ja herkkyyksianalysien avulla testattuun malliin.

Sen todentamiseksi, että malli tarjoa hyvää yhteensopivuutta vain kalibrintijaksolta (lokakuusta 2017 lokakuuhun 2020), kalibroituja mallia tulee testata toisellakin ajanjaksolla. Tämän vuoksi kalibroituja mallia simuloidaan toiselle valitulle ajanjaksolle ja tämän ajanjakson havaintojen ja mallitulosten välisestä yhteensopivuudesta tehdään arvio. Mitattujen ja mallinnettujen arvojen välisen yhteensopivuuden on oltava yhtäläinen näiden kahden ajanjakson välillä, jotta todentaminen voidaan katsoa hyväksyttäväksi. Kalibrintiprosessissa on tärkeää ottaa talteen sekä vuoden sisäiset että vuosien väliset vaihtelut: siksi kaikkia kalibrintihetkellä paikallisista mittauksista saatuja tietoja on hyödynnetty. Kun aloitetuista mittauksista saadaan tuloksia, saataville tulee täydentäviä aikasarjoja, joita voidaan käyttää mallin edelleen todentamiseksi. Malli on kuitenkin todennettu testaamalla sitä kahdesta kalibrintijakson ulkopuolisesta aikasarjasta saatuja havaintoja vasten. Ensimmäinen testi koostui tällä hetkellä vedellä täyttyneen kaivoksen tyhjennyksen simuloimisesta AB-vyöhykkeellä. Havaintoja kaivoksesta pumpatusta vedestä sen ollessa käytössä verrataan kaivokselle tunkeutuvan pohjaveden laskettuihin arvoihin. Toinen toteutettu testi oli verrata laskettuja pohjaveden pinnan tasoa sellaisiin hiljattain rakennetuista pohjavesiputkista saatuihin havaintoihin, jotka eivät kuuluneet kalibroinnin pohjatietoihin. Nämä putket luodattiin talvella 2020/2021, eli kalibrintijakson ulkopuolella. Kalibrintijakson kattamien talvikausien pohjaveden pinnan laskennallisia arvoja samoissa pisteissä verrattiin uusista putkista tehtyihin havaintoihin talvelta 2020/2021.

8 Pintavesimallin kalibrointi

Tässä luvussa kuvataan vaiheittaiset muutokset pintavesimalliin, joita on tehty kalibroinnin aikana, sekä lopulliset kalibrointitulokset. Kalibrointimetodiikka esitetään kohdassa 7.1. Kohdassa 8.1 annetaan esimerkkejä mallinnusta varten laskettujen virtaamien, tasojen ja pitoisuuksien muutoksista kalibrointiprosessin aikana. Kohdassa 8.2 kuvataan hydrodynaamiset tulokset, kohdassa 8.3 kuvataan vedenlaatua koskevat tulokset ja kohdassa 8.4 kuvataan leviämismallin tulokset Rautasjoelle. Kalibrointitulokset esitetään valituista edustavista mittauspisteistä, joissa on mitattu sekä virtaamia että kemiallisia ominaisuuksia. Havaintopisteitä ovat AVA01, AVA02, AVA14, AVA15, KVA145 ja KVA147 sekä KVA179. Luossajärven vesikemia on kalibroitu sekä KVA145:n että KVA147:n osalta, kun taas virtaus pois järvestä on kalibroitu KVA145:n osalta mitattujen pintatasojen pohjalta. KVA179:ssä on mitattu vain vedenlaatua, kun taas muissa pisteissä on mitattu myös virtaamia. Lisätietoja käsitteellisestä mallista ja paikallisesta ymmärryksestä, joita on käytetty pintavesimallin pohjana, on kohdissa 5.2 ja Figur 5-1.



Kuva 8-1 Kalibrointituloksiin sisältyvien havaintopisteiden sijainnit: KVA145/147: Luossajärven luusua, AVA15 – vanhan kaivoksen ylivuoto, AVA01 – Tvillingtjärn-järvijärjestelmän luusua, AVA14 – Stora Abbortjärnin luusua, AVA02 – Pahtajoen ylävirta, KVA179 – Pahtajoen luusua.

8.1 Mallin asteittaiset muutokset työn aikana

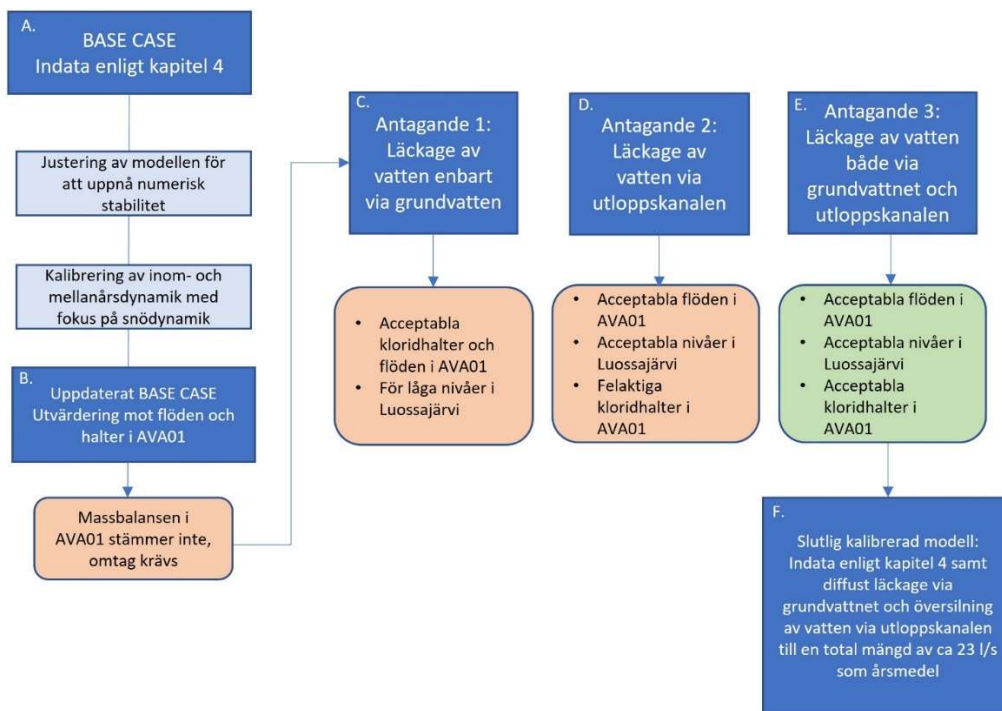
Pintavesimallia on päivitetty asteittain kalibrintiprosessin aikana. Luvussa 4 kuvattujen tietojen pohjalta tehtiin ensimmäinen oletus, ja kuvassa Figur 4-12 esitetyt vesiväylät ja järvet sisällytettiin malliin, A kuvassa Figur 8-2. Ensimmäisessä niin kutsutussa basecase-tapauksessa tehtiin aluksi oikaisuja niin, että lasketut vedenpinnan tasot ja virtaamat olivat numeerisesti vakaita. Seuraavassa vaiheessa arvioitiin lasketut tasot ja virtaamat vertaamalla niitä havaittuihin arvoihin. Keskiössä oli alueen yleinen vesitase eli se, että vesistöjen virtaustilavuus on vuositasolla oikeassa kokoluokassa mittauksiin verrattuna. Kun oikea vesitase oli saavutettu vuositasolla, seuraavana vaiheena oli saavuttaa vuoden sisäinen dynamiikka, joka vastaa havaittuja arvoja. Tässä vaiheessa painopiste on lumen sulamista, lumen kerääntymistä ja pohjaveden muodostusta ohjaavissa malliparametreissa, jotka vaihtelevat kohtuullisissa fysikaalisissa rajoissa. Tämän tarkoituksena on saavuttaa hyvä vastaavuus havaittujen ja laskettujen virtaamien ja tasojen välillä. Näiden ensimmäisten kalibrintitoimien jälkeen laadittiin malli, jolla voitiin toistaa havaitut virtaamat ja tasot useissa havaintopisteissä, B kuvassa Figur 8-2.

Kalibroituja malleja testattiin ja arvioitiin kloridin massataseen osalta AVA01:ssä (ks. Figur 8-1). Massatase osoitti, että Luossajärvestä kulkeutui vettä Tvillingjärven-järvijärjestelmään. Laskelmat viittasivat siihen, että Luossajärvestä valui Tvillingjärven-järjestelmään noin 23 l/s (vuosikeskiarvo). Oli kuitenkin epäselvää, miten ja missä tämä valuminen tapahtui, eikä sitä ole myöskään pystytty selvittämään maastossa kenttäinventoinnin yhteydessä. Tämä veden kulkeutuminen ei ole mukana kalibroidussa mallissa, minkä vuoksi tarkistus oli perusteltua, vaikka lasketut virtaamat ja tasot tuottivat hyviä tuloksia.

Seuraavassa vaiheessa (C kuvassa Figur 8-2) oletettiin, että pohjaveden kautta tapahtuu diffuusia valumista nopeudella 23 l/s järvestä Tvillingjärven-järjestelmään (virtausreitti a kuvassa Figur 8-1). Malli toistettiin ja arvioitiin Luossajärven pinnan, AVA01:n virtaaman ja AVA01:n kloridin osalta. Tällöin saatiin hyvä vastaavuus laskettujen ja havaittujen kloridipitoisuuksien sekä AVA01:n virtaamien välillä. Luossajärven laskettu pinnankorkeus kuitenkin poikkesi havainnoista. Oletus siitä, että kaikki valuminen tapahtuu järvestä pohjaveden kautta, aiheutti liian alhaisia järven pinnankorkeuksia. Tämä tulos antoi aiheita kalibroinnin uuteen toistoon.

Seuraavassa vaiheessa (D kuvassa Figur 8-2) oletettiin tästä syystä, että veden valuminen tapahtuu purkukanavan kautta ja vain silloin, kun järvestä virtaa vettä kanavaan, virtaus b kuvassa Figur 8-1. Virtaama, joka vastaa vuosikeskiarvoa 23 l/s, siirtyi kanavasta Tvillingjärven-järjestelmään, kun vettä virtasi järvestä. Tämä oletus tuotti jälleen erittäin hyvän vastaavuuden laskettujen ja havaittujen virtaamien ja tasojen välillä, mutta lasketut kloridipitoisuudet AVA01:ssä poikkesivat huomattavasti havaituista arvoista.

Seuraavassa vaiheessa (E kuvassa Figur 8-2) käytettiin kalibrointiin tämän vuoksi yhdistelmää kahdesta valumisreitistä a ja b, Figur 8-1. Oletuksena on, että järvestä tapahtuu jatkuvasti diffuusia vuotoa pohjaveden kautta koko vuoden ajan ja lisäksi purkukanavasta purkautuu vettä pulssimaisesti, kun järvestä poistuu vettä. Tämä oletus tuotti hyvän vastaavuuden sekä laskettujen ja havaittujen järven tasojen välillä että virtaamien ja kloridipitoisuuksien välillä AVA01:ssä. Lopullisessa kalibroidussa mallissa (F kuvassa Figur 8-2) kulkeutuu noin 19 l/s vettä diffuusin pohjaveden vuodon kautta ja noin 2 l/s purkukanavan kautta niinä ajankohtina vuoden aikana, jolloin vettä poistetaan. Vuositasolla tämä vastaa Luossajärven veden kokonaismäärää 23 l/s, joka kulkeutuu järvestä Tvillingjärven-järjestelmään.



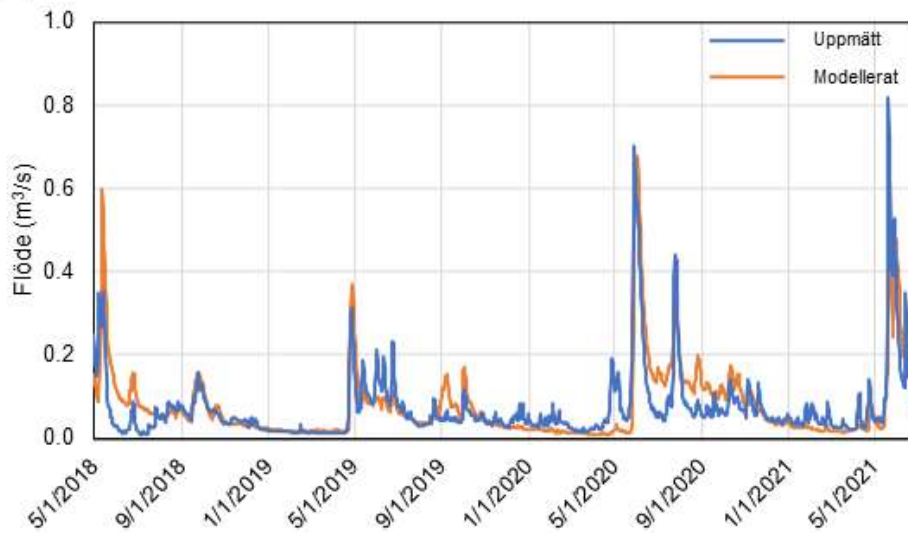
Kuva 8-2. Kaaviokuva, joka esittää pintavesimallin kalibrointiprosessia.

8.2 Kalibroinnin tulokset hydrodynamiikan osalta

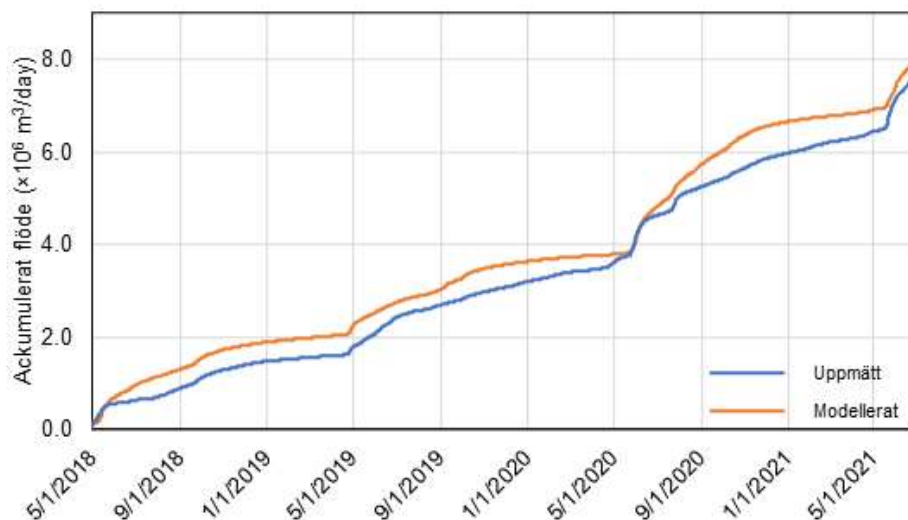
Tässä osassa esitetään kalibroidun mallin tulokset havaintopisteistä AVA01, AVA02, AVA14 ja AVA15 (Figur 8-1). Tuloksia esittämissä kuvissa Figur 8-3–Figur 8-6 näkyy, miten virtaama vaihtelee ajan mittaan ylemmässä kaaviossa, kun taas kertynyt virtaama samalta ajanjaksolta näkyy alemmassa kaaviossa. Kaaviot osoittavat, miten hyvin kalibroitu malli kykenee toistamaan virtauksen vaihtelut tietyssä havaintopisteessä ja miten virtausmäärän virhe vaihtelee ajan kuluessa.

Malli kuvaa yleisesti hydrologiset olosuhteet AVA01:ssä, joka sijaitsee Luossajärvestä ja ns. kaivospurosta alavirtaan AVA15:ssä (Figur 8-3a). Tämä tulos osoittaa, että oletukset Luossajärven virtaamasta ja tällä hetkellä veden täyttämästä kaivoksesta tulevasta lisävedestä ovat perusteltuja (6.1.3). Kuitenkin laskennallinen virtaaman huippukohta lumen sulamisen aikana vuosina 2020 ja 2021 on hieman havaittua myöhemmin. Vuoden 2020 kevättulvan aikana laskettu huippuvirtaama on myös havaittua suurempi, mutta tulos käy hyvin yksiin vuoden 2021 kevättulvan aikaisten havaintojen kanssa. AVA01:ssä mallin valumaa on yliarvioitu 5 %:n verran (Figur 8-3a). Tämä johtuu pääasiassa vuoden 2018 kevätvirtaaman yliarvioinnista AVA15:ssä (Figur 8-5). Yliarvointia tehtiin jo kalibrointijakson alussa ja se oli järjestelmällisesti samankaltaista koko mallinnuksen ajan. Vuoden 2020 mallinnettu melko myöhäinen lumen sulaminen muodostaa kuitenkin lyhyen ajanjakson, jolloin havaittu ja kertynyt virtaama ovat silmämääräisesti samanlaiset.

(a) AVA01 - Flöde



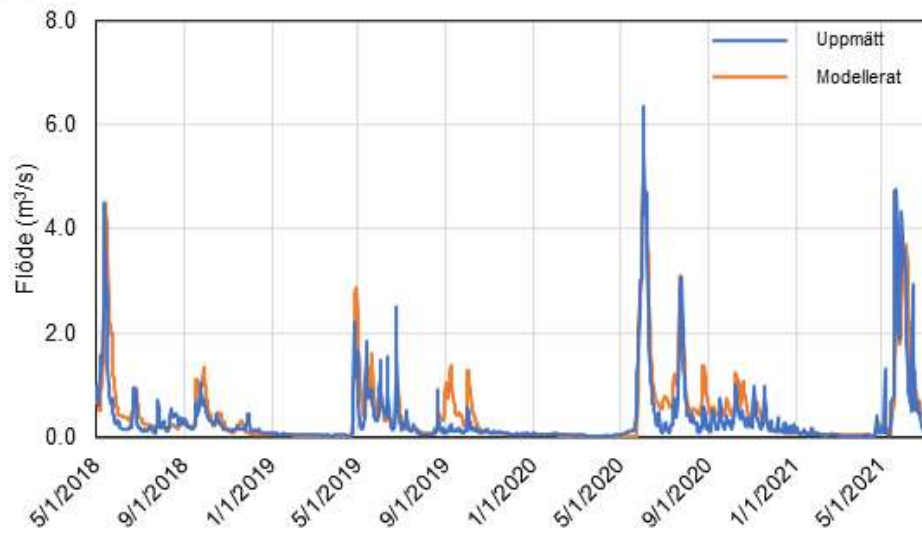
(b) AVA01 - Ackumulerat flöde



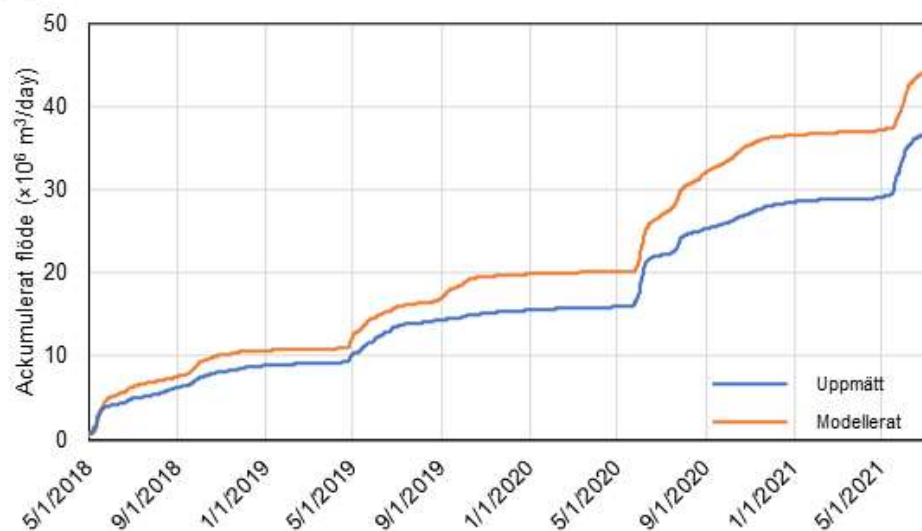
Kuva 8-3. Mitatut ja lasketut virtaamat AVA01:ssä. (a) Hydrografi (m^3/s) (b) Kertynyt virtaama ($\times 10^6 \text{ m}^3 / \text{päivä}$).

Malli toistaa AVA02:n hydrologisen virtausdynamiikan erittäin hyvin, mukaan lukien ajoitus ja virtaushuippujen koko (Figur 8-4a). Valunut tilavuus on kuitenkin yliarvioitu 17 % verran (Figur 8-4b). LKAB:n tietojen mukaan on esiintynyt useita jaksoja, jolloin säätöä on tapahtunut manuaalisesti (Funck F, henkilökohtainen viestintä, 12.3.2021). Manuaalista säätöä, josta ei ole käytettävissä yksityiskohtaisia tietoja, on vaikea toistaa mallissa. Tämä on yksi mahdollinen syy siihen, että mallissa yliarvioidaan valumamäärä AVA02:ssä. Mallin toinen epävarmuustekijä on kuvaus siitä, kuinka jään muodostuminen ja routa vaikuttavat pintapohjaveteen ja pintavalumaan. Virhe lasketun ja havaitun valumamäärän välillä kasvaa kalibroinnin aikana ja virhe on hydrologisena vuonna 2020–2021 suurempi kuin kalibrointijakson alkupuolella.

(a) AVA02 - Flöde



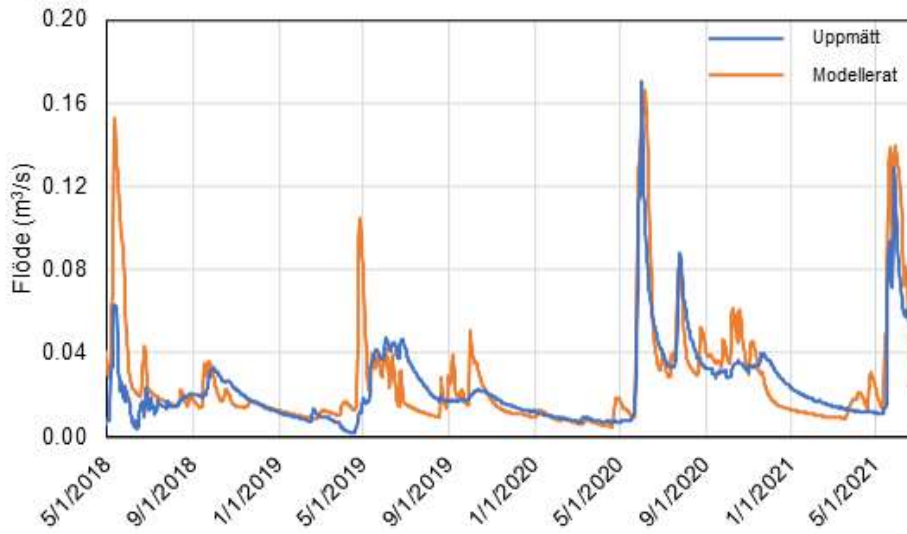
(b) AVA02 - Ackumulerat flöde



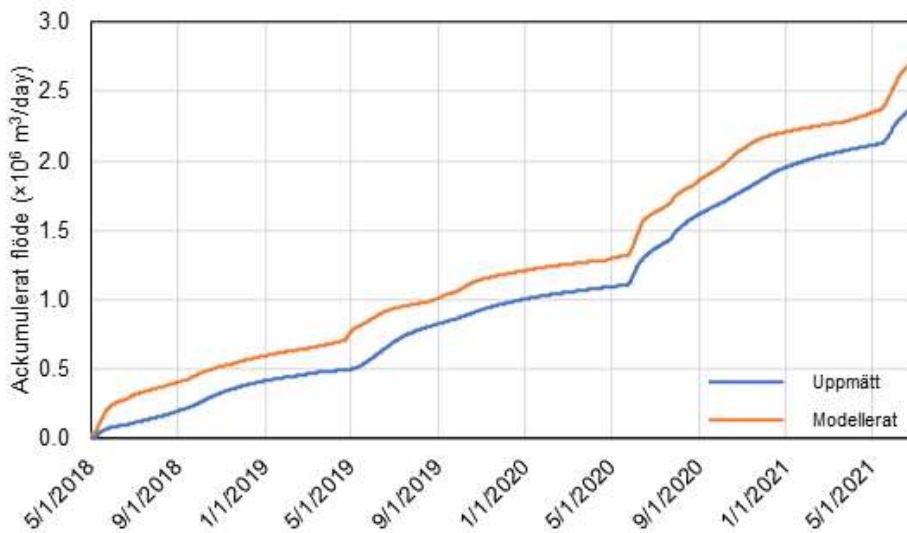
Kuva 8-4. Mitatut ja lasketut virtaamat AVA02:ssä. (a) Hydrografi (m^3/s) (b) Kertynyt virtaama ($\times 10^6 \text{ m}^3 / \text{päivä}$).

Havaittu virtausdynamikka AVA15:ssä toistuu hyvin mallissa (Figur 8-5a). Poikkeuksena on laskettu virtaushuippu lumen sulamisaikana vuonna 2018, joka on huomattavasti havaintoa suurempi. Tämän lisäksi kalibrointijaksolla ei ole erityisiä tapahtumia, joiden osalta valuma olisi tallentunut malliin paremmin tai huonommin. Myös AVA15:ssä laskettu valumamäärä on kuitenkin yliarvioitu 11 %:n verran (Figur 8-5b). Pohjaveden virtaus AVA15:n on suuri, koska suurin osa AVA15:n vedestä on tällä hetkellä veden täyttämästä kaivoksesta tulevaa pohjavettä (Figur 8-1 ja Figur 5-1). Tämän virtauksen vaihteluun vaikuttavat myös routimisprosessit suurella todennäköisyydellä. Näitä prosesseja ei nykyisellään kuvata täysin mallissa, mikä on epävarmuustekijä lasketuissa virtaamissa (lisätietoja routimisprosessien vaikutuksesta pintavesien valumaan AVA15:ssä on kohdassa 10.2.3.2).

(a) AVA15 - Flöde



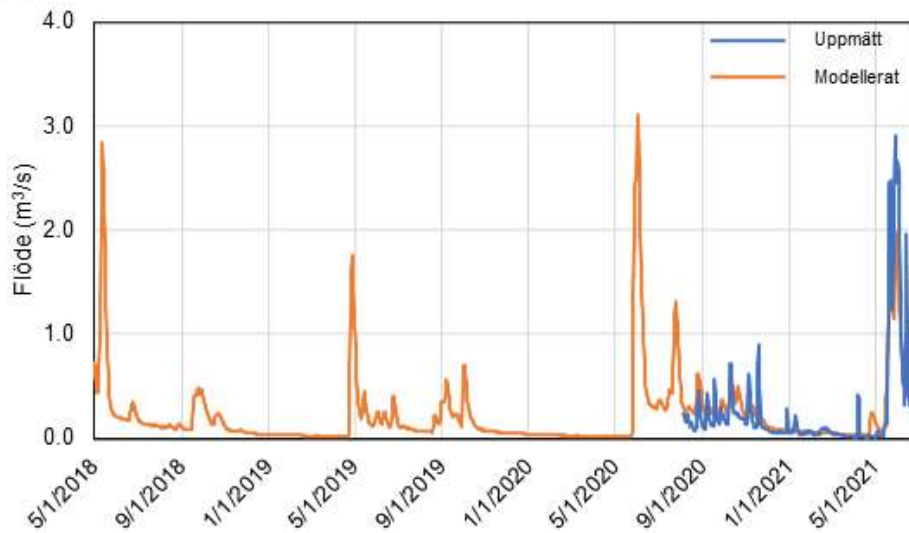
(b) AVA15 - Ackumulerat flöde



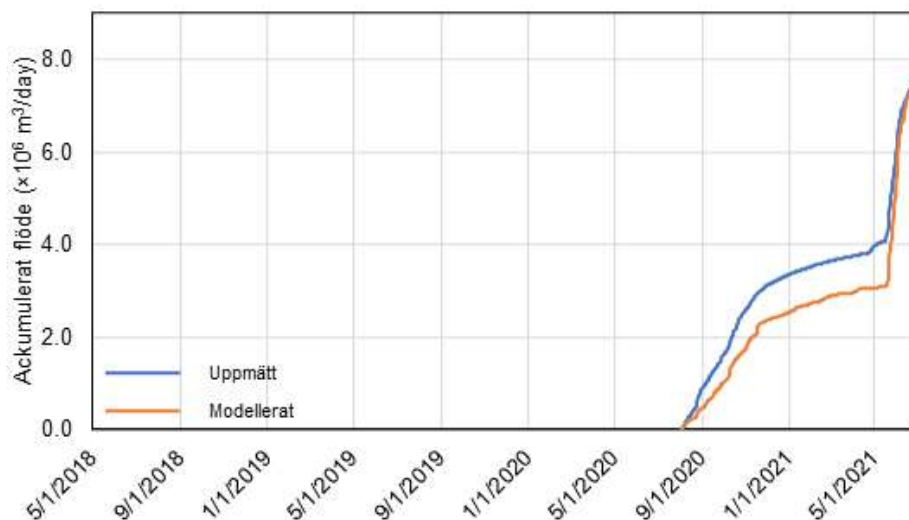
Kuva 8-5. Mitatut ja lasketut virtaamat AVA15:ssä. (a) Hydrografi (m^3/s) (b) Kertynyt virtaama ($\times 10^6 \text{ m}^3 / \text{päivä}$).

AVA14:n kalibrointituloksia verrataan huomattavasti lyhyempään mittausjaksoon kuin muilla asemilla (Figur 8-6). Havaituissa tiedoissa on edustettuna vain syys- ja talvikausi ja sitä seuraava kevättulva, mikä vaikeuttaa kalibroinnin arviointia. Virtaushuiput syksyn 2020 sateiden aikana ja perusvirtaama talvella 2020/2021 ovat mallissa yliarvioituja, kun taas vuoden 2021 lumen sulamisaikaiset virtaushuiput on aliarvioitu. Tämä merkitsee sitä, että jakson kokonaisvirtaaman määrä vastaa erittäin hyvin havaintoja ja virhe on vain 2 %.

(a) AVA14 - Flöde

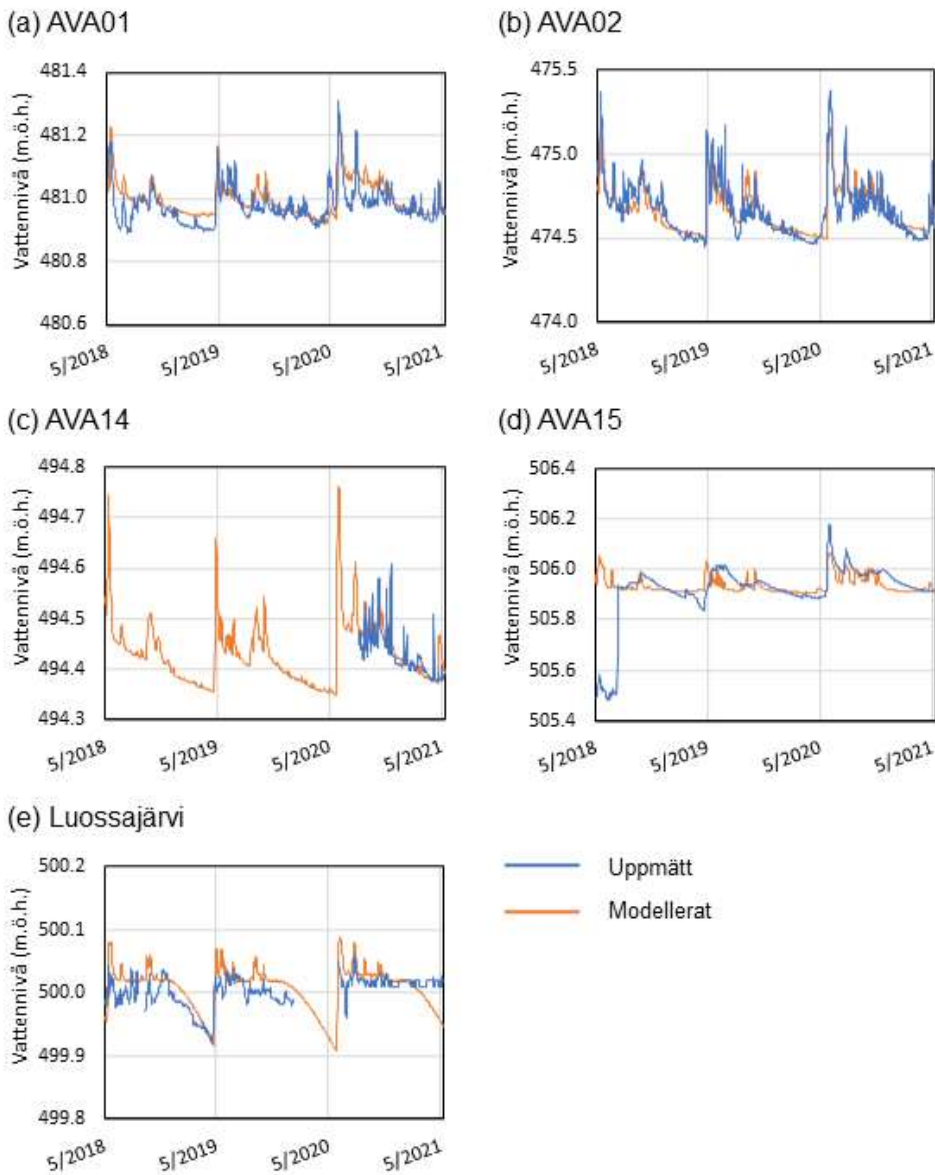


(b) AVA14 - Ackumulerat flöde



Kuva 8-6. Mitatut ja lasketut virtaamat AVA14:ssä. (a) Hydrografi (m^3/s) (b) Kertynyt virtaama ($\times 10^6 \text{ m}^3 / \text{päivä}$).

Hydrodynaamisen mallin kalibrointitulokset vedenpinnan korkeuden osalta esitetään kuvassa Figur 8-7. Mallissa yliarvioidaan vedenpinnan korkeus AVA01:ssä 1,98 cm:n verran, AVA14:ssä 0,49 cm:n verran ja AVA15:ssä 1,84 cm:n verran. AVA02:ssä vedenpinnan korkeus aliarvioidaan 0,05 cm:n verran. Kaikissa havaintopisteissä vedenpinnan dynamiikka näkyy mallissa erittäin hyvin, vaikkakin ylimmät tasot aliarvioidaan AVA01:ssä. Kun otetaan huomioon epävarmuudet manuaalisesta sääntelystä Luossajärvessä, tason vaihtelut näkyvät mallissa hyvin (Figur 8-7). Järven manuaalinen sääntely tarkoittaa, että hyvää kalibrointia on vaikea saada aikaan tiettyinä aikoina vuodesta (Figur 8-1 ja Figur 5-1). Epävarmuustekijöitä liittyy myös oletuksiin, jotka koskevat järven prosessiveden lisäämistä ja pois johtamista alueella tapahtuvasta LKAB:n toiminnasta johtuvista syistä. Kuitenkin laskennallinen virhe järven pinnan korkeudessa koko kalibrointijakson aikana on keskimäärin vain 1,2 cm yli havaittujen tasojen, mikä katsotaan hyväksyttäväksi. AVA15:n mittaus korjattiin kesällä 2018. Mallissa on kuvattu vain uusi tieto, minkä vuoksi vuoden 2018 lasketut tasot poikkeavat havaituista arvoista.



Kuva 8-7 Kaaviot, joista selviävät havaintopisteissä mitatut ja lasketut vedenpinnan korkeudet (m): (a) AVA01, (b) AVA02, (c) AVA14, (d) AVA15 sekä (e) Luossajärvessä.

8.3 Kalibrointitulokset vedenlaadun osalta

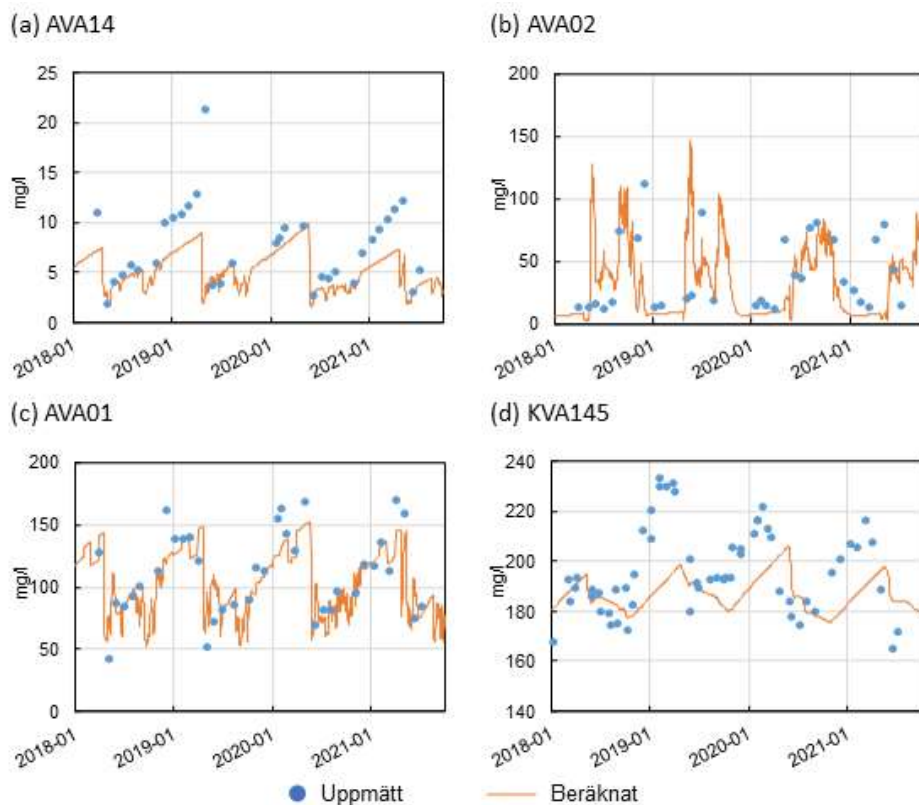
Tässä kohdassa esitellään vedenlaatumallin kalibrointitulokset (osa 7.1.2). Vedenlaatumalli on työkalu, joka muodostaa tärkeän perustan Viscarian kaivostoiminnan nykyisiä ja tulevia ympäristövaikutuksia koskeville tutkimuksille. Tällä tavoin päästöt voidaan minimoida kustannustehokkaasti ja mahdolliset toimenpiteet voidaan ottaa käyttöön varhaisessa vaiheessa. Malli on kalibroitu havaintopisteiden AVA01, AVA02, AVA14 ja KVA145 perusteella, kalibroidun mallin lasketut pitoisuudet eri aineille kuvataan tässä osassa. Kalibroitua mallia käytetään sitten lähtökohdaksi simuloitaville tulevaisuuden skenaarioille.

Kalibrointituloksiin sisältyvät kalsium (Ca), kloridi (Cl), koboltti (Co), kupari (Cu), liuennut orgaaninen hiili (DOC), nitraatti (NO₃), sulfaatti (SO₄), uraani (U) ja sinkki (Zn) (Figur 8-8 ja Figur 8-16 **Error! Reference source not found.**). Tuloksia on verrattu mitattuihin hetkellisiin arvoihin ajoittaisten vesinäytteiden yhteydessä. On kuitenkin korostettava, että mallissa lasketaan pitoisuuksia jatkuvasti, mikä tulee ottaa huomioon verrattaessa laskettuja ja mitattuja pitoisuuksia.

Tulosten arviointi (kertoimena, joka on korjattu soiden vaikutuksen huomioon ottamiseksi, kohta 7.1.2) osoittaa, että laskettujen tasojen suuruusluokka on kohtuullinen. Malli tuottaa kohtuulliset keskipitoisuudet. Kaikissa arvioituissa mittauspisteissä on absoluuttinen keskimääräinen virhe seuraavissa: Ca: 2,1–26,7 mg/l, Cl: 0,2–12,7 mg/l, Co: 0,0–2,7 µg/l, Cu: 0,2–0,6 µg/l, DOC: 0,6–1,6 mg/l, NO₃: 0,0–1,9 mg/l, SO₄: 0,5–95 mg/l, U: 0,0–2,1 µg/l, Zn 0,6–46 µg/l.

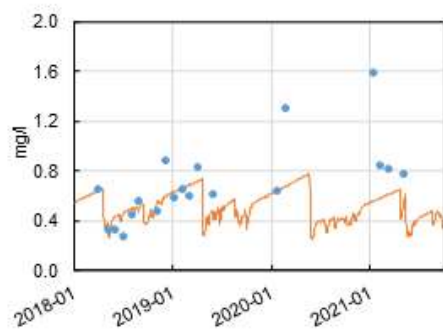
Laskettujen ja havaittujen pitoisuuksien dynamiikka sopii myös hyvin yhteen. Ajoitus sekä vähimmäis- ja enimmäispitoisuuksien tasot ovat hyvät (esimerkiksi AVA02, Figur 8-8). Toisinaan laskettujen ja mitattujen tulosten välillä on kuitenkin tietty viive, erityisesti KVA145:ssä (Luossajärvi), Figur 8-8). Luossajärvelle on määritelty vedenpinnan korkeuden sääntelystrategia, joka on kuvattu mallissa (ks. kohta 6.1). Järveä säännellään kuitenkin usein manuaalisesti eikä sääntelystrategian mukaisesti. Tämä on vaikeuttanut virtaaman kalibrointia Luossajärvestä alavirtaan. Virtaamien kalibrointivaikeudet ovat sitten vaikuttaneet laskettuihin pitoisuuksiin järvestä alavirtaan sijaitsevilla vesistöissä.

Mallissa näkyy parhaiten aineiden Ca, Cl, Cu, SO₄ ja U dynamiikka. Mallissa ei näy yhtä hyvin aineiden Co, DOC, NO₃ ja Zn dynamiikka.

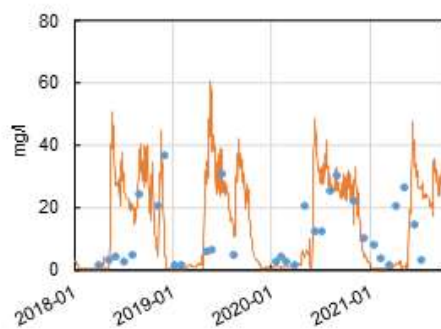


Kuva 8-8. Mitatut ja lasketut Ca-pitoisuudet (mg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.

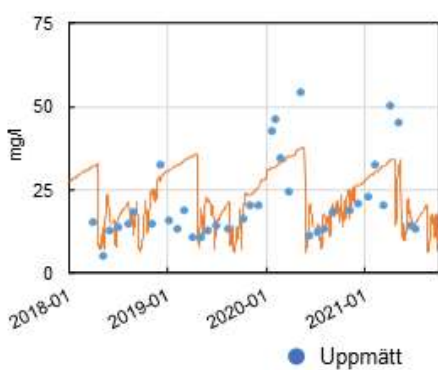
(a) AVA14



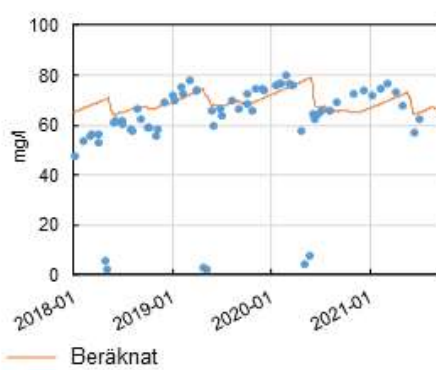
(b) AVA02



(c) AVA01

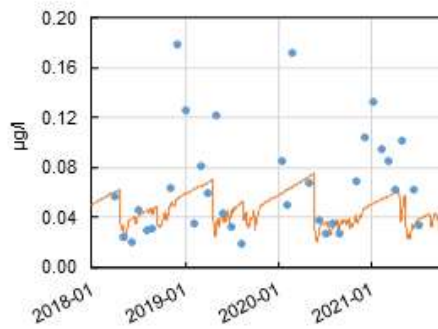


(d) KVA145

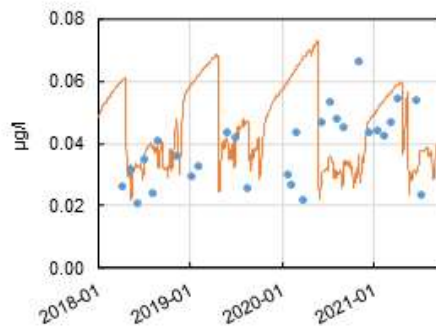


Kuva 8-9. Mitatut ja lasketut Cl-pitoisuudet (mg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.

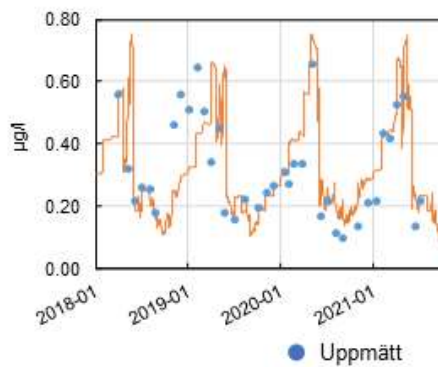
(a) AVA14



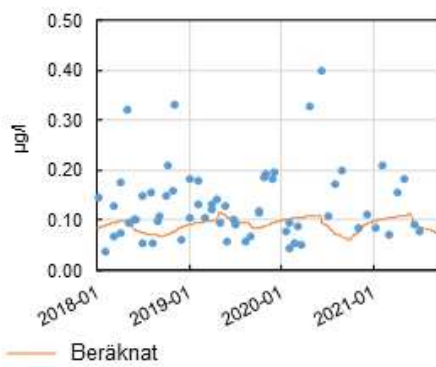
(b) AVA02



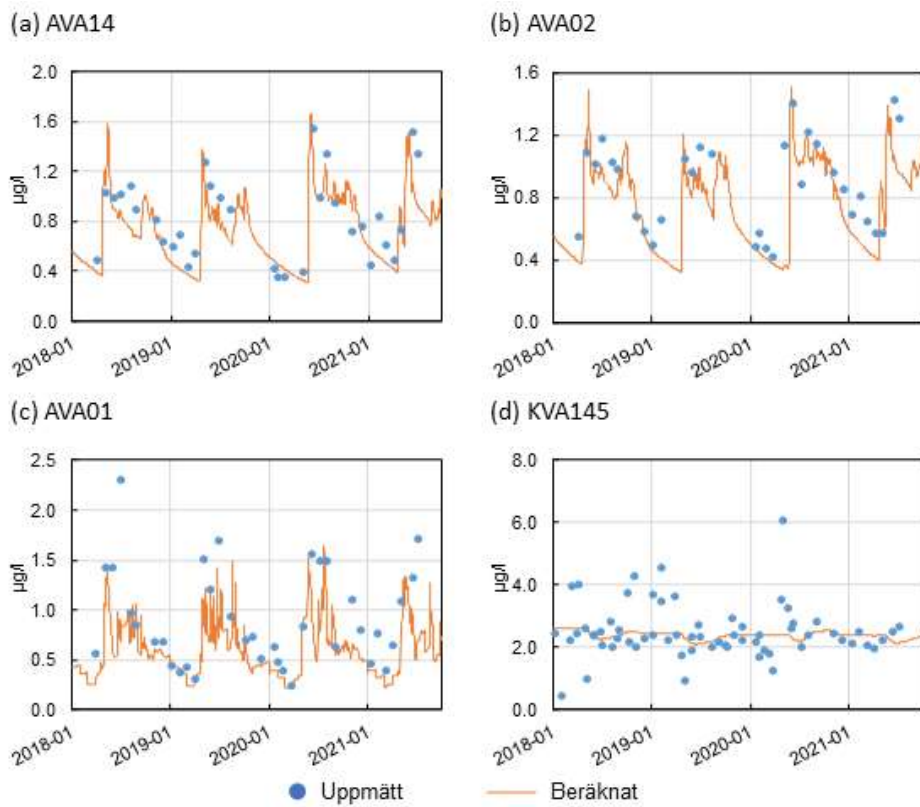
(c) AVA01



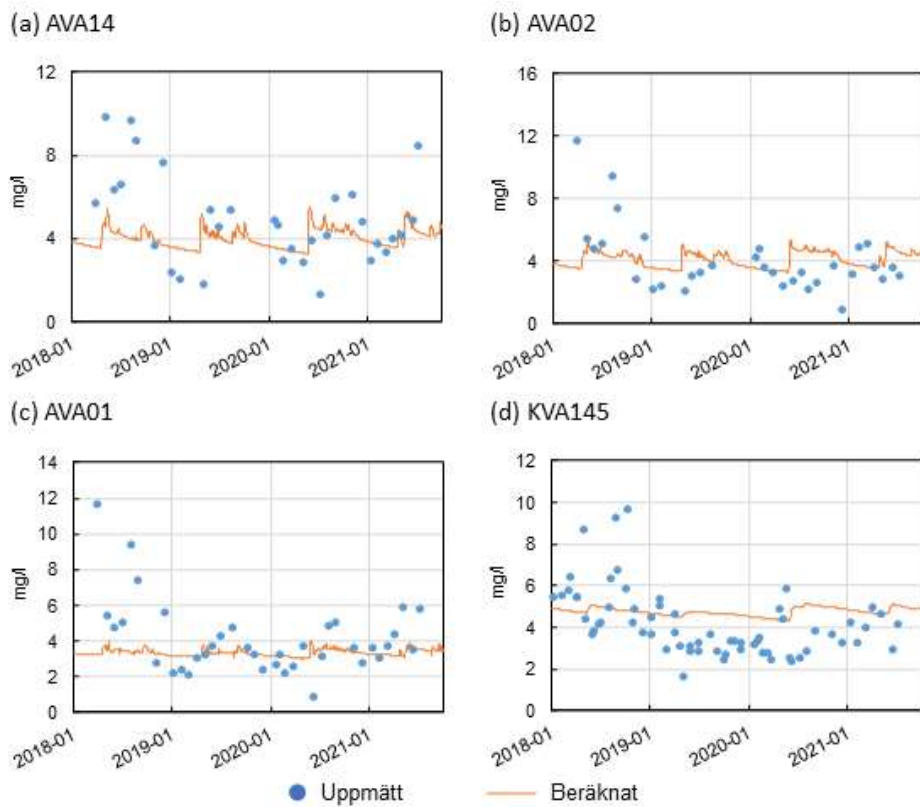
(d) KVA145



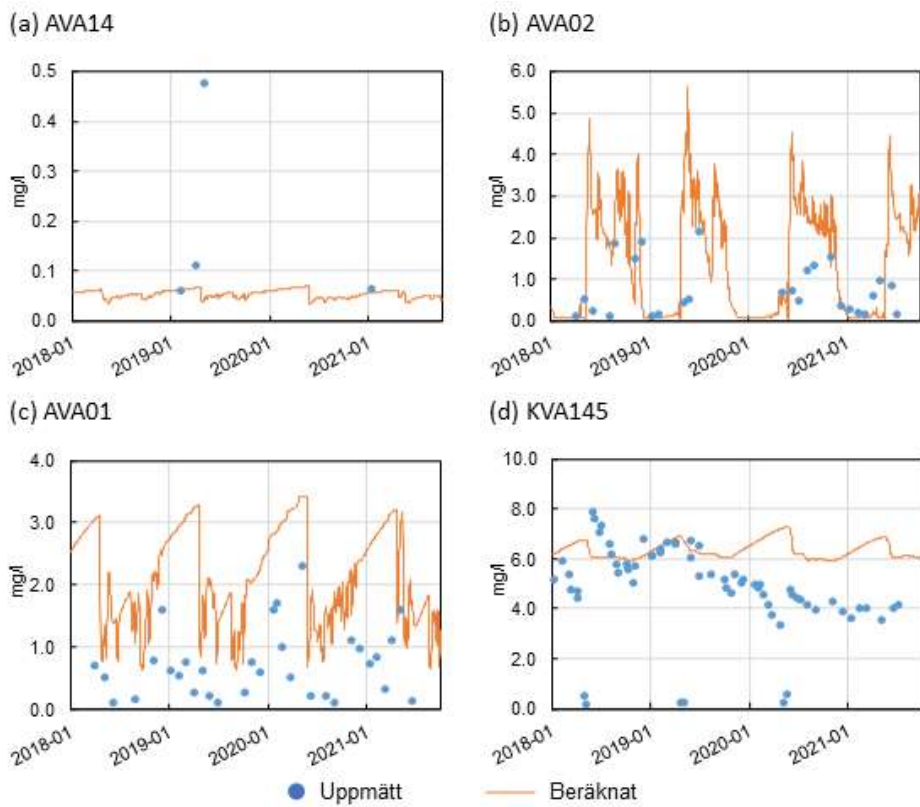
Kuva 8-10. Mitatut ja lasketut Co-pitoisuudet (µg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.



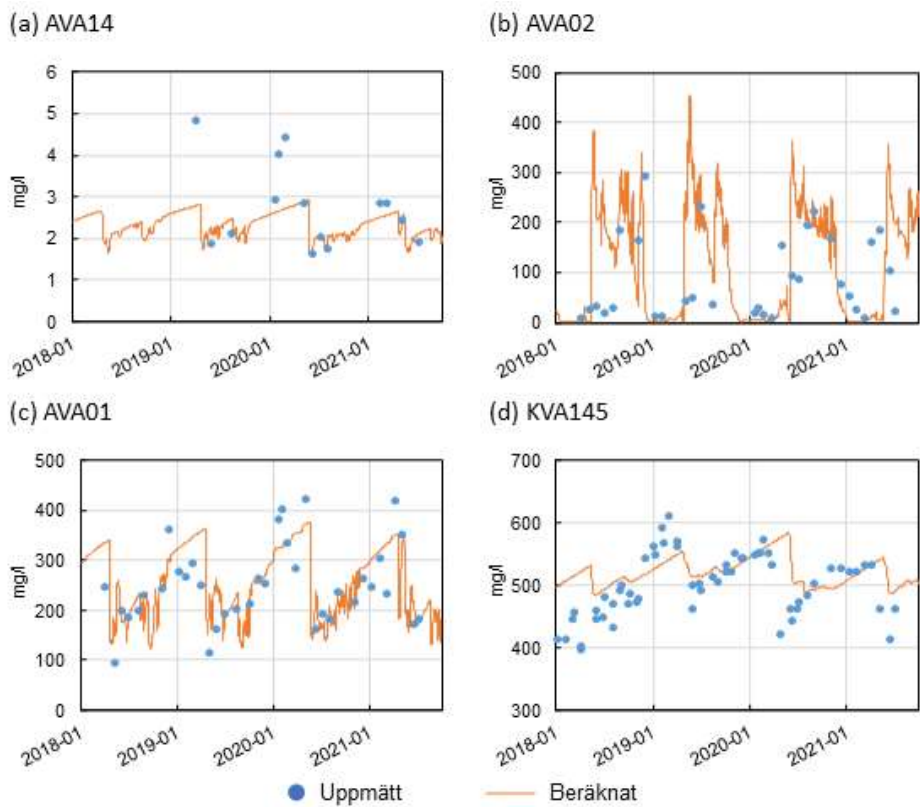
Kuva 8-11. Mitatut ja lasketut Cu-pitoisuudet (µg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.



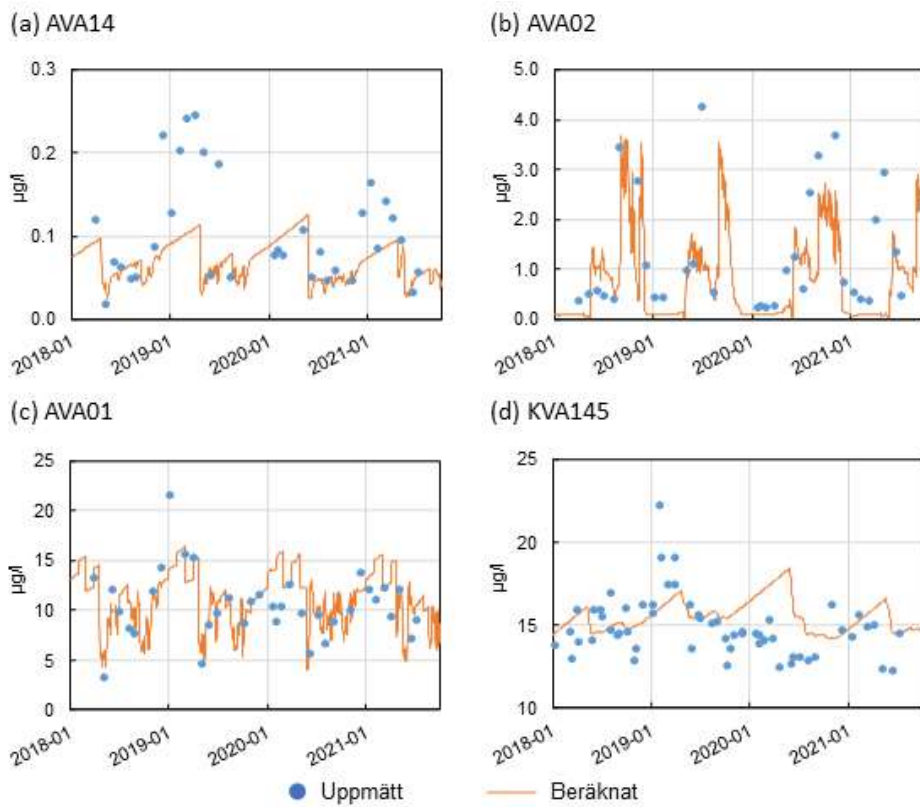
Kuva 8-12. Mitatut ja lasketut DOC-pitoisuudet (mg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.



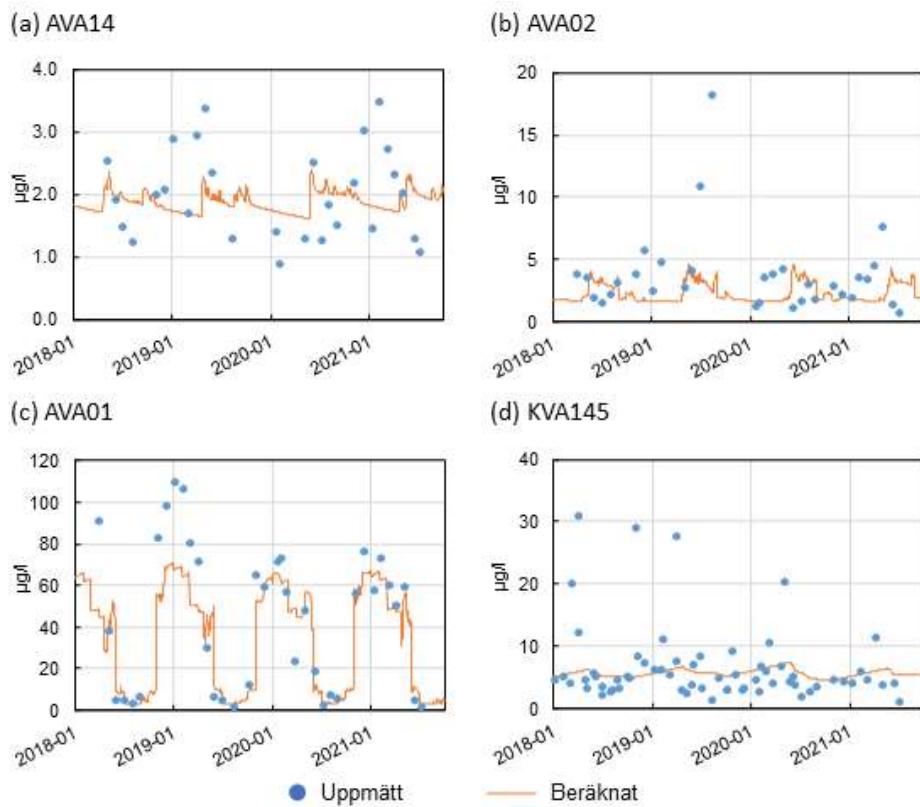
Kuva 8-13. Mitatut ja lasketut NO_3^- -pitoisuudet (mg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.



Kuva 8-14. Mitatut ja lasketut SO_4^- -pitoisuudet (mg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.



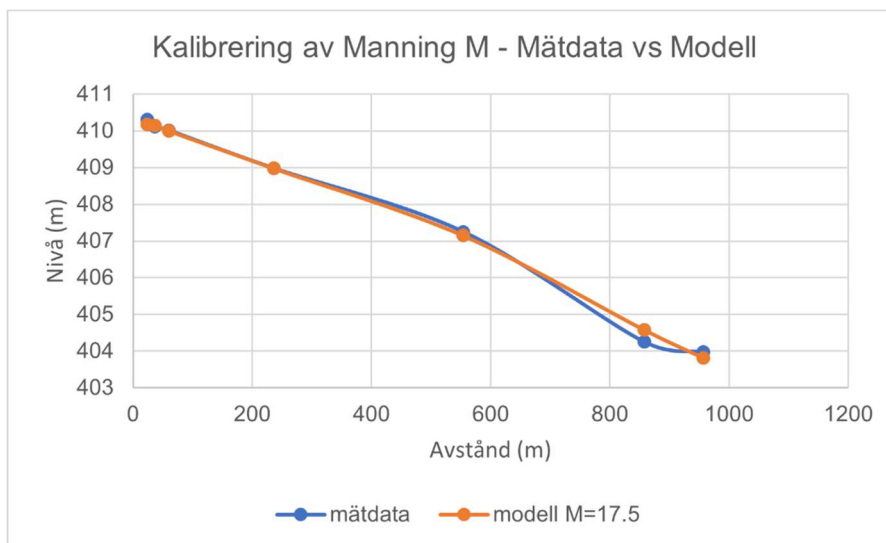
Kuva 8-15. Mitatut ja lasketut U-pitoisuudet (µg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.



Kuva 8-16. Mitatut ja lasketut Zn-pitoisuudet (µg/l): (a) AVA14, (b) AVA02, (c) AVA01, (d) KVA145.

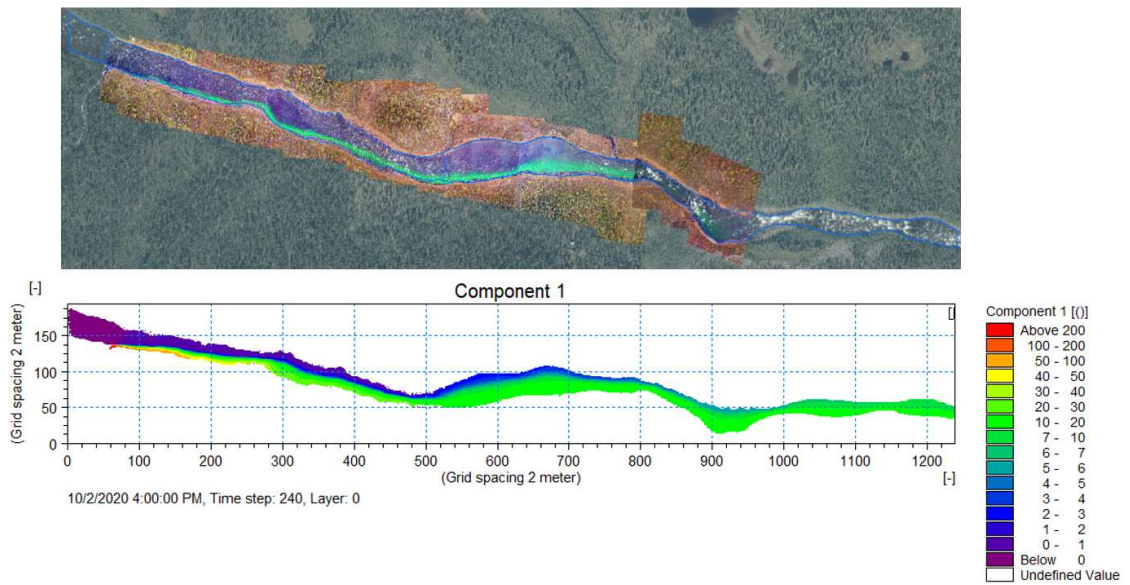
8.4 Kalibrintitulokset, leviämismalli Rautasjoelle

Tässä kohdassa esitellään Rautasjoen leviämismallin kalibrintitulokset (osa 7.1.3). Kalibroimalla Manningin kerroin M , joka mittaa pohjan epätasaisuutta vesistössä, saatiin asetettu kaksiulotteinen dispersiomalli Rautasjoelle (kohdat 2.1.2, 6.1.4 ja 7.1.3) sekä hyvä yhteensopivuus laskettujen ja mitattujen vedenkorkeuksien välille (Figur 8-17). Manningin M :lle kalibroiduksi arvoksi saatiin $17,5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$., joka on yhdenmukainen Manningin M :n kanssa Rautasjoen ominaisuuksia omaavien vesistöjen kirjallisuuden tietojen kanssa (Chow 1959).



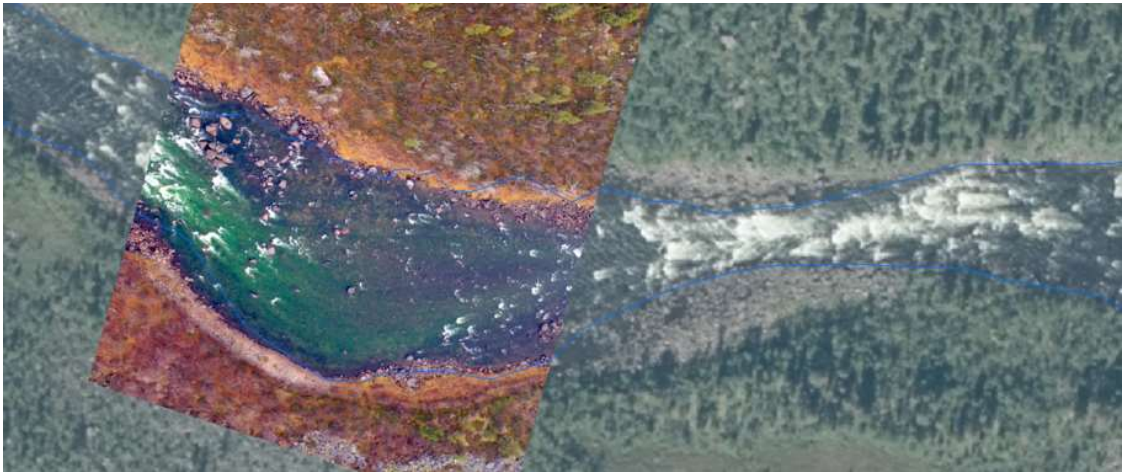
Kuva 8-17. Rautasjoen mitatut ja mallinnetut vedenkorkeudet.

Sen jälkeen dispersiokerroin (D) kalibroidiin vaihtelemalla vakiota k , kunnes mallinnettu dispersio vastasi merkkiainekokeessa nähtyä. Tämä johti siihen, että K :lle valittiin arvo $1,0$, joka antaa dispersiokertoimeksi $0,13 \text{ m}^2/\text{s}$ (kohta 7.1.3, yhtälö 2). K :n kalibroitu arvo asetuu kirjallisuudessa annettujen rajojen ulkopuolelle (Fischer et al. 1979), mutta koska Rautasjoki on jyrkkä vesistö, jonka virtaus on runsaasti kuohuva ja väli koskee heikosti mutkittlevaa vesistöä, voidaan K :n arvon olettaa olevan kohtuullinen. Figur 8-18 näyttää konservatiivisen aineen simuloitun diffuusion (kuvion alaosa) verrattuna merkkiainekokeen tuloksiin (yläosa). Konservatiivisen aineen pitoisuudeksi on asetettu 1000 yksikköä Pahtajoen virtaukselle, joka on noin $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, joka vie $30 \text{ m}^3/\text{s}$ virtauksen Rautasjokeen, antaa täysin sekoittuneena 10 yksikön pitoisuuden.



Kuva 8-18. Konservatiivisen aineen simuloitu diffuusio (alempi kuva) verrattuna merkkiainekokeeseen (ylempi kuva).

Merkkiainekokeesta saatu dronikuva osoittaa, että kotelossa on lähes täydellinen sekoittuminen, noin 1 800 m alavirtaan Pahtajoen poistokohdasta Rautasjokeen (Figur 8-19). Simulaatiot osoittavat, että täydellistä sekoittumista ei ole tapahtunut kotelossa, vaan että täysi sekoittuminen saavutetaan välittömästi alavirtaan kapealla putousosuudella. Merkkiainekokeen ja mallin tulokset viittaavat siihen, että näytteenottopiste tulisi sijoittaa kotelosta alavirtaan, jos halutaan tehdä mittaus täydellä sekoittumisella.



Kuva 8-19. Dronikuva kotelosta 1 800 m Pahtajoen ulostulosta alavirtaan. Simulaatioiden mukaan täysi sekoittuminen saavutetaan välittömästi kotelosta alavirtaan eli kapealla putousosuudella.

9 Pintavesimallin tulokset

Tässä luvussa raportoidaan kalibroituja pintavesimallien tulokset tämän päivän olosuhteissa ja tulevaisuuden skenaarioissa. Kaikkien tyyppivuosien tulokset kuvataan tämänhetkisten olosuhteiden (vaihe 1) sekä täysin louhitun kaivoksen (vaihe 3:100%) osalta. Kaivoksen kehityksen muiden vaiheiden (vaihe 2, vaihe 3:30%, vaihe 3:70% ja vaihe 4) kuvataan tulokset vain normaalivuodelta (2013–2014).

Kuten jo luvun 7 johdannossa mainittiin, on tärkeää huomata, että pintavesimalleista MIKE HYDRO River ja NAM saadaan tulokset yksinkertaistetulla kuvauksella alueen pohjavesidynamiikasta. Luvuissa 10 ja 11 raportoidut alueen vesistöjä koskevat tulokset ovat kuitenkin tulosta pinnalla, maaperässä ja kalliolla tapahtuvista integroiduista prosesseista. Virtaustulokset, jotka raportoidaan kohdissa 9.1 ja 9.2, on työn aikana sovitettu luvuissa 10 ja 11 esitettyihin tuloksiin, ja tavoitteena on ollut saada mahdollisimman yhdenmukaisiatuloksia eri mallikonsepteissa.

9.1 Tämänhetkiset olosuhteet ja eri tyyppivuosien vaikutus

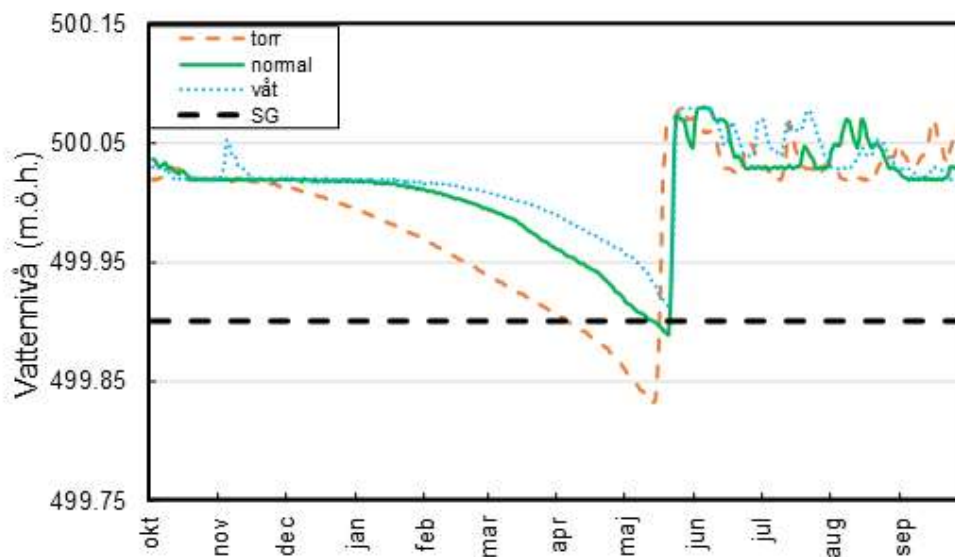
Tässä alaluvussa kuvataan lasketut vedenpinnan tasot Luossajärvässä sekä virtaamat ja vedenlaatu vesistöissä ympäri Viscarian tämänhetkisissä olosuhteissa. Tuloksiin sisältyvät myös eri tyyppivuosien väliset erot.

9.1.1 Vedenpinnan tasot

Vedenpinnan tason vaihtelut on laskettu eri tyyppivuosille (normaali, märkä ja kuiva) Luossajärvässä (Figur 9-1). Laskelmat on tehty tämänhetkisten olosuhteiden mukaan, joten on otettava huomioon myös LKAB:n nykyinen toiminta alueella. Veden pumppaus järvestä Luossajokeen sekä järven pintatason sääntely on kuvattu mallissa (ks. Figur 5-1). Yleinen vedenkorkeusvaste kolmen hydrologisen mallivuoden aikana on sama kaikissa skenaarioissa. Järven pinnankorkeus on hydrologisen vuoden alussa (loka-marraskuussa) noin 500,02 m kaikkina tyyppivuosina ja pysyy sitten suhteellisen tasaisena syksyllä, minkä jälkeen pinta laskee. Pinnan lasku alkaa marraskuun alussa kuivina vuosina, helmikuussa normaalivuosina ja maaliskuun lopussa märkinä vuosina. Vedenpinnat kaikkina kolmena tyyppivuotena laskevat sitten edelleen, kunnes kevättulva alkaa toukokuussa. Vedenpinta nousee nopeasti kevättulvan myötä, ja kaikkina kolmena tyyppivuotena saavutetaan enimmäiskorkeus toukokuun lopussa. Sen jälkeen pinnan tasot vaihtelevat 500,02 m ja 500,08 m välillä koko hydrologisen vuoden ajan. Kolmen vuoden aikana veden korkeuksien samanlaisuus johtuu siitä, että järvi on säännelty ja että sääntelyllä on suurempi vaikutus vedenpinnan tasoon kuin säävaihteluilla. Luossajärven alin sallittu vedenpinnan taso eli niin kutsuttu turvaraja (SG) on tällä hetkellä 499,9 m. Skenaarioanalyysin mukaan Luossajärvässä on riski siitä, että vedenpinta laskee kuivina vuosina turvarajan (SG) alapuolelle ja ylittää turvarajan vain hieman lumen sulamisaikana normaalivuonna.

On syytä huomata, että vaikka malli näyttää pinnantason vaihtelut järvässä hyvin kalibrointijakson aikana, siinä on silti joitakin epävarmuustekijöitä. Suurin epävarmuuden lähde on veden tihkuminen, jota vesikemiallisten tietojen mukaan tapahtuu järvestä. Kaiken todennäköisyyden mukaan tämä vesi kulkeutuu järvestä Tvillingtjärn-järjestelmään osittain kanavan kautta ja osittain diffuusina vuotona järvestä (kohdat 5 ja 6, Figur 5-1). Tämänhetkisenä oletuksena on, että järvestä vuotaa vettä jatkuvasti koko vuoden ajan (kohta 6, Figur 5-1) noudattaen vastaavaa dynamiikkaa kuin alueen luonnollinen pohjaveden kulkeutuminen. Lisäksi lisää vettä kulkeutuu Tvillingtjärn-järvijärjestelmään suuren virtauksen aikana, kun Luossajärvestä poistetaan vettä kanavaan (kohta 5, Figur 5-1). Tämä vesi liikkuu joko pintapohjavetenä tai pintavetenä kouruissa alueen usein kyllästyneiden kosteikoiden läpi. Hydrodynaamisen, hydrologisen ja vedenlaatua koskevan kalibroinnin laskentatulokset tukevat tätä olettamusta. Lisätietoja tästä on luvussa 8.

Luossajärvi - Vattennivä^o



Kuva 9-1. Luossajärven vedenkorkeusskenaariot kolmelle tyypilliselle vuodelle: kuiva vuosi (oranssi), normaali vuosi (vihreä) ja märkä vuosi (sininen) sekä alaraja (SG), jonka alapuolelle vedenpinta ei saa laskea. Vähäisen vedenpinnan vaihtelun jaksoina pinnan taso vaihtelee cm-asteikolla, mikä näkyy käyrissä kohinana.

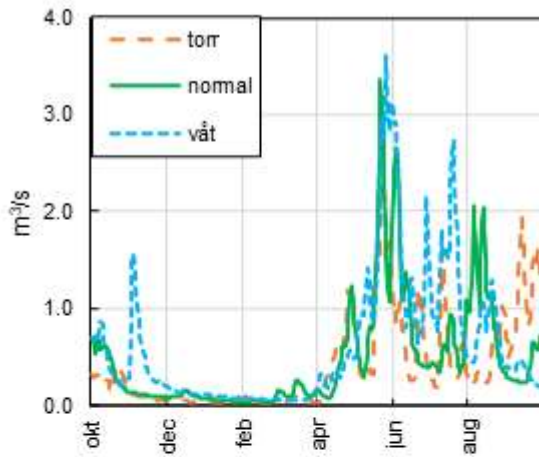
9.1.2 Virtaamat

Tässä aluvussa kuvataan virtaamat useilla mittausasemilla ympäri Viscariaa tyypiviuosina (normaali, märkä ja kuiva). Vuosittaiset ja kertyneet virtaamat kahdelta asemalta näytetään kuvassa esimerkkeinä. Nämä asemat ovat AVA02 (kanavaa alavirtaan) ja KVA179 (Pahtajoki laskee Rautasjokeen) (Figur 9-2). Muiden asemien vuosittaiset kertyneet virtaamat on lueteltu taulukossa

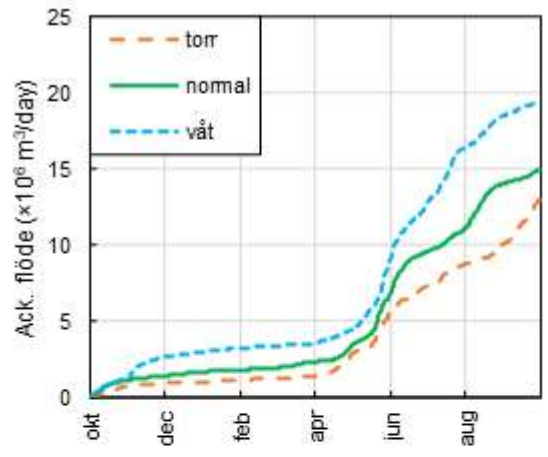
Tabell 9-1. Yleisesti kaikilla asemilla virtaaman prosenttimääräinen lisäys märkävuosina on suurempi kuin prosenttimääräinen vähennys kuivina vuosina, jos niitä verrataan normaalivuosiin. Vaikka kuivina vuosina on vähemmän sadetta kesäkuukausina, vuosittainen kertynyt virtaama on melko samanlainen kuivina vuosina ja normaalivuosina (

Tabell 9-1). Tämä johtuu siitä, että kuivina vuosina sade tulee useammin vetenä kuin lumena, jolloin vesistöihin tulee enemmän vettä alkutalven kuukausina verrattuna normaalivuosiin.

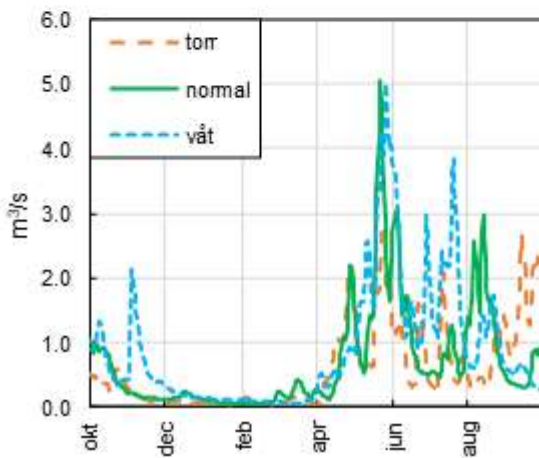
(a) AVA02



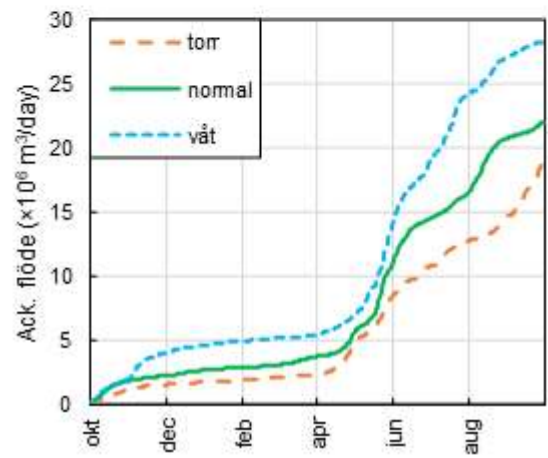
(b) AVA02



(c) KVA179



(d) KVA179



Kuva 9-2. Kolmen tyyppivuoden virtaamaskaariot asemille AVA02 ja KVA179: kuiva vuosi (oranssi), normaalivuosi (vihreä) ja märkä vuosi (sininen).

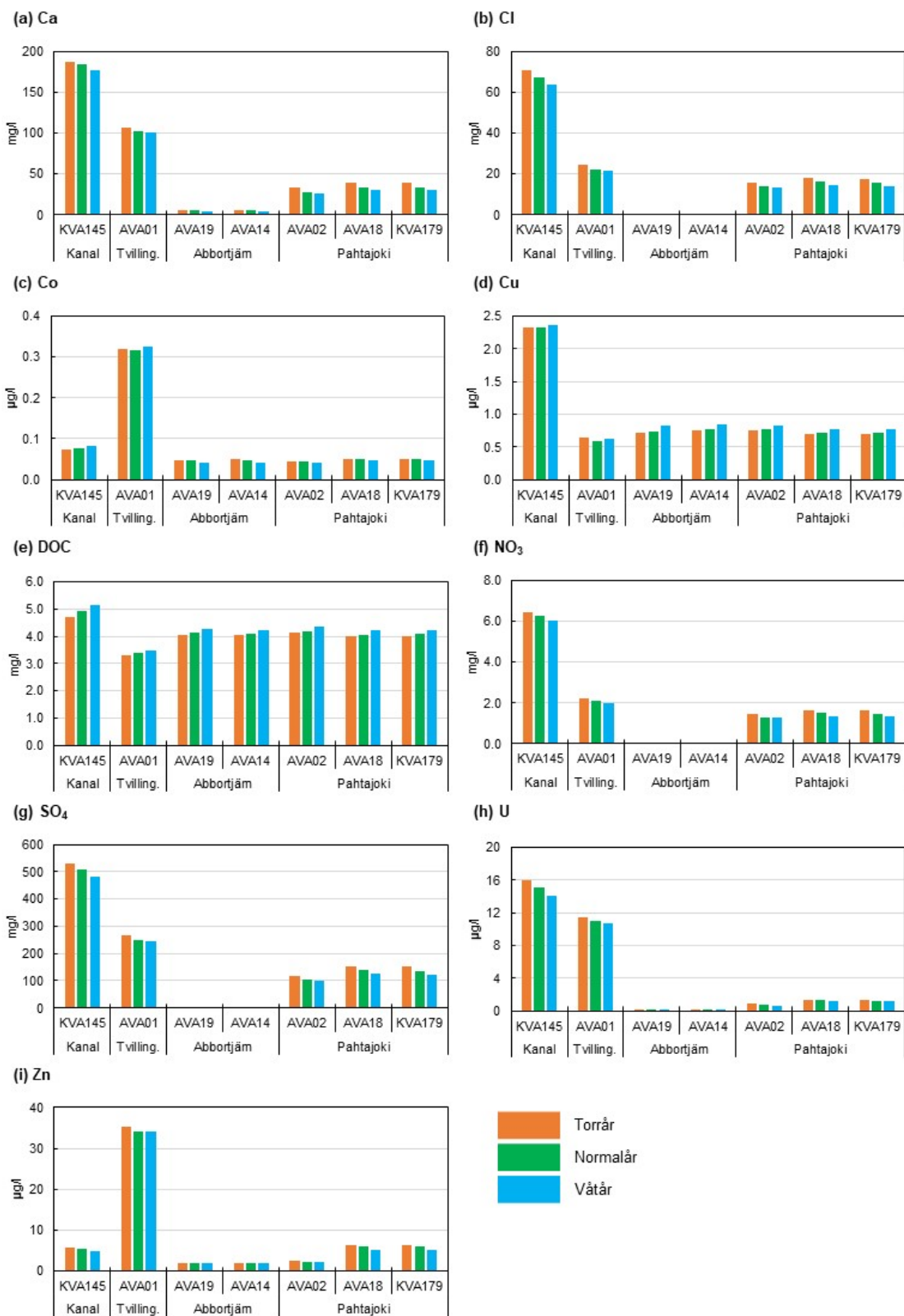
Taulukko 9-1 Kertynyt virtaama lasketuissa mittauspisteissä, nykytila, kuiva vuosi ja märkä vuosi vaiheelle 1 (nykytila). Taulukko sisältää myös prosenttimääräisen muutoksen normaalivuoteen verrattuna (positiiviset luvut tarkoittavat lisäystä ja negatiiviset luvut vähennystä).

	Vaihe 1 (×10 ⁶ m ³)			Prosenttimääräinen muutos (%)	
	Normaali	Kuiva	Märkä	Kuiva	Märkä
Luossajärven tulokohta					
VVA17	5,49	5,42	6,79	-1,3	24
Luossajärven luusua (kanava)					
KVA145	6,10	5,96	7,80	-2,3	28
Tvillingtjärn-järvijärjestelmä					
AVA01	2,69	2,37	3,36	-12	25
Stora Abbottjärn					
AVA19	6,42	5,00	8,37	-22	30
AVA14	7,95	6,23	10,3	-22	30
Pahtajoki					
AVA02	15,0	13,0	19,3	-14	29
AVA29	18,2	15,7	23,4	-14	28
AVA18	21,1	18,0	27,1	-15	28
KVA179	22,0	18,7	28,9	-15	28

9.1.3 Vedenlaatu

Tässä aluvuossa esitetään laskelmat vedenlaadusta Luossajärven, Tvillingtjärn-järjestelmän, Stora Abbottjärnin ja Pahtajoen purkukanavassa. Vedenlaatu kattaa aineet Ca, Cl, Co, Cu, DOC, NO₃, SO₄, U ja Zn. Figur 9-3 sisältää nykytilaa kuvaavat tulokset (vaihe 1). Kuva sisältää myös kolme tyyppivuotta eli normaalivuoden (vihreä), märän vuoden (sininen) ja kuivan vuoden (oranssi) sekä näyttää, miten vedenlaatu vaihtelee kanavassa (KVA145), Tvillingtjärn-järjestelmässä (AVA01), Stora Abbottjärnissä (AVA19 ja AVA14) sekä kauempana alavirtaan Pahtajoessa (AVA02, AVA18 ja KVA179). Kuvaa täydentää Tabell 9-2, jossa näkyvät useiden mittausasemien pitoisuudet. Yleisesti ottaen pitoisuuserot ovat pienempiä eri tyyppivuosien kuin eri asemien välillä.

Tänä päivänä Luossajärvi-Pahtajoki-Tvillingtjärn-järvijärjestelmän pääasialliset epäpuhtaudet tulevat kolmelta alueelta. Nämä kolme aluetta tarkoittavat LKAB:n toiminta-alueen Luossajärven virtaavaa osaa, Viscarian vanhaa selkeytyksallasta ja sen valuma- aluetta sekä Viscarian alueella sijaitsevaa vanhaa ja tällä hetkellä veden täyttämää kaivosta. LKAB:n ja Viscarian selkeytyksaltaan valuma virtaa Luossajärven kautta Pahtajokeen, kun taas Viscarian nykyään veden täyttämän kaivoksen ylijuoksuusi valuu Pahtajokeen Tvillingtjärn-järvijärjestelmän kautta. Tämä näkyy selkeimmin mittausasemilla (KVA145) ja Tvillingtjärn-järvijärjestelmässä (AVA01). Mittausasema KVA145 ilmaisee pitoisuudet Luossajärven, jossa on erityisen suuret pitoisuudet aineita Ca, Cl, Cu, NO₃, SO₄ ja U. AVA01 ilmaisee ylijuoksuuden pitoisuudet vanhassa kaivoksessa, jossa on suuret pitoisuudet aineita Ca, Cl, Co, NO₃, SO₄, U ja Zn. Pitoisuuksia voidaan verrata Stora Abbottjärnin mittausasemiin (AVA19 ja AVA14), joiden kautta tyhjenty suhteellisen koskematon alue ja joiden voidaan katsoa kuvaavan alueen luonnollista vesikemialla. Pitoisuudet laimentuvat asteittain luonnollisesti, kuten Stora Abbottjärnin mittausasemilla. Tämä näkyy Pahtajoen mittausasemilla, jotka alkavat AVA02:sta ja päättyvät KVA179:ään (Pahtajoen luusua) (Figur 8-1). Poikkeuksena on DOC, joka on biologisen aktiivisuuden tulosta ja jonka pitoisuudet ovat suhteellisen samankaltaiset sekä vaikutusalueilla että niiden ulkopuolella.



Kuva 9-3. Kaikkien valittujen aineiden vuosittaiset lasketut keskipitoisuudet kaikilla mittausasemilla. Vuosikeskipitoisuudet kattavat märät vuodet, normaalivuodet ja kuivat vuodet vaiheessa 1

Taulukko 9-2 Kaikkien valittujen aineiden vuosittaiset lasketut keskipitoisuudet kaikilla mittausasemilla. Vuosikeskipitoisuudet kattavat märät vuodet, normaalivuodet ja kuivat vuodet vaiheessa 1.

Yksikkö	Ca mg/l	Cl mg/l	Co µg/l	Cu µg/l	DOC mg/l	NO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	U µg/l	Zn µg/l
KVA145									
kuiva	188	71	0,07	2,3	4,7	6,5	531	16	5,8
normaali	184	67	0,08	2,3	4,9	6,2	509	15	5,3
kosteaa	178	64	0,08	2,4	5,1	6,0	482	14	4,8
AVA01									
kuiva	107	24	0,32	0,65	3,3	2,2	268	11	35
normaali	102	22	0,32	0,59	3,4	2,1	250	11	34
kosteaa	100	21	0,33	0,63	3,5	2,0	243	11	34
AVA19									
kuiva	5,1	0,52	0,05	0,71	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
normaali	4,8	0,50	0,05	0,74	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
kosteaa	4,2	0,46	0,04	0,82	4,3	0,06	2,2	0,06	2,0
AVA14									
kuiva	5,3	0,53	0,05	0,74	4,0	0,06	2,3	0,07	1,9
normaali	5,0	0,51	0,05	0,77	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
kosteaa	4,3	0,47	0,04	0,85	4,2	0,06	2,2	0,06	2,0
AVA02									
kuiva	34	16	0,04	0,75	4,1	1,5	118	0,83	2,4
normaali	28	14	0,04	0,77	4,2	1,3	104	0,74	2,3
kosteaa	26	13	0,04	0,83	4,4	1,3	100	0,67	2,2
AVA29									
kuiva	43	20	0,05	0,70	4,0	1,8	169	1,5	6,5
normaali	37	18	0,05	0,71	4,0	1,6	152	1,4	6,2
kosteaa	34	16	0,05	0,77	4,2	1,5	138	1,2	5,4
AVA18									
kuiva	40	18	0,05	0,70	4,0	1,7	155	1,4	6,3
normaali	34	16	0,05	0,71	4,1	1,5	139	1,3	6,1
kosteaa	31	14	0,05	0,77	4,2	1,4	125	1,1	5,2
KVA179									
kuiva	39	18	0,05	0,70	4,0	1,6	151	1,4	6,3
normaali	33	16	0,05	0,71	4,1	1,5	136	1,2	6,0
märkä	30	14	0,05	0,78	4,2	1,3	122	1,1	5,2

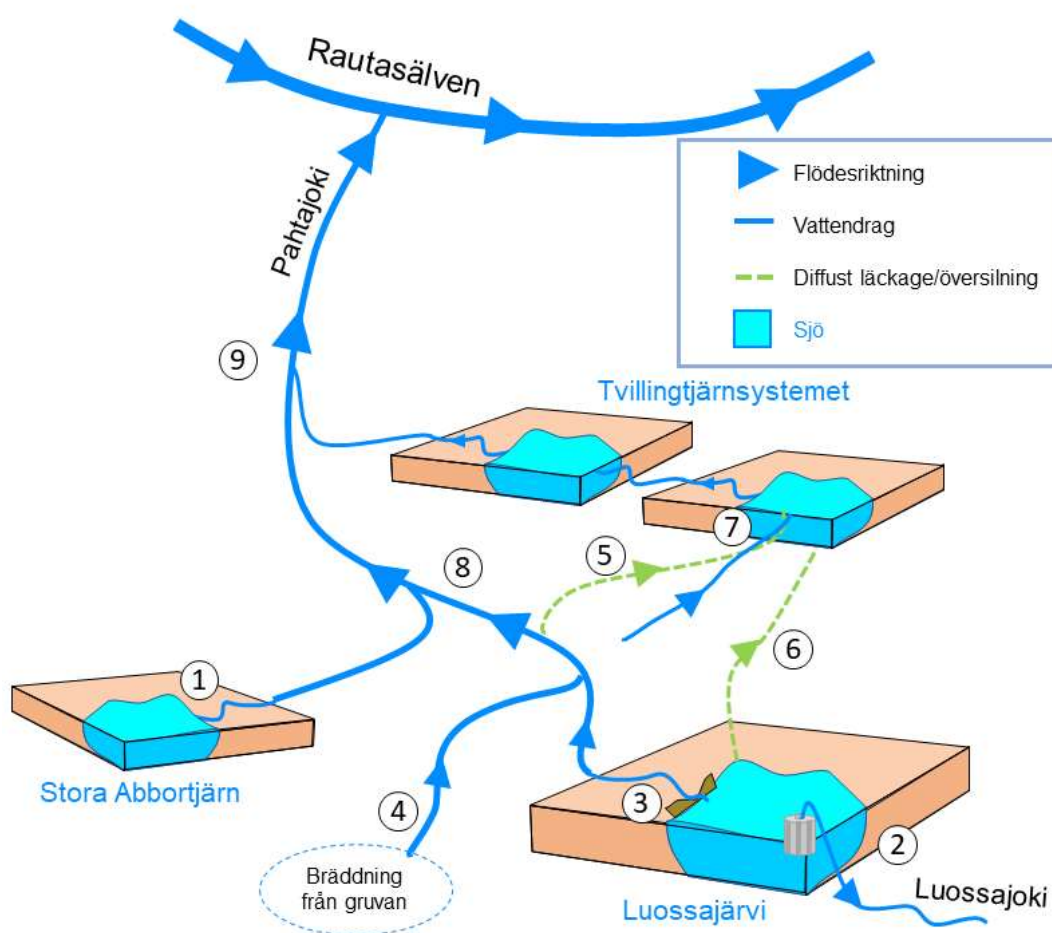
9.2 Tuleva vaikutus vedenpinnan korkeuksiin, virtaamiin ja vedenlaatuun

Tässä luvussa kuvataan tulokset vedenpinnan tasojen, virtaamien ja valittujen aineiden pitoisuuksien osalta vaiheiden 1–4 skenaariolaskelmista simuloituina normaalivuodelle. Eri vaiheiden tuloksia verrataan nykytilaan (eli vaiheeseen 1) ja osittain toisiinsa. Näin saadaan kuva vaikutusten vaihtelusta kaivoksen käyttöä aikana.

Olemassa oleva kaivos tyhjenetään jo vaiheessa 2 (ks. luku 2.3), ja poistuva vesi puhdistetaan ennen sen päästämistä purkuvesistöön. Puhdistus jatkuu tämän jälkeen kaikissa vaiheissa vaiheeseen 4 asti. Poistettavan, prosessissa käsiteltävän ja lopulta puhdistettavan veden määrä vaihtelee eri vaiheissa, ja siihen vaikuttavat myös vallitseva

sää ja lumidynamiikka. Nämä vaihtelut on huomioitu suoritetuissa simuloinneissa. Vaiheessa 2 kaivos tyhjenetään vedestä keskivirtausnopeudella 600 m³/h. Vaiheen 3 kolmen alivaiheen poistettava vesi (30, 70 ja 100% kaivoksesta louhittu) on laskettu integroidussa pinta- ja pohjavesimallissa, jonka tulokset ovat luvussa 11.2.5, ja sisällytetty sitten pintavesimalliin. Toiminnasta tuleva vesi poistetaan purkukohtaan, joka sijaitsee Luossajärven purkukanavassa (Figur 9-4). Kuvassa näkyy, kuinka poistovesi ohjataan kanavaan ja kuinka tämä virtaus käyttäytyy alueen luonnollisten vesistöjen yhteydessä (virtaus 4, Figur 9-4).

Mahdollisena suojelutoimena poistovesi voidaan jakaa useisiin purkukohtiin. Tämän jaon toteutus ja vaikutus vesidirektiivin luokitukseen kuvataan liitteessä B5 (Purkuvesistöselvitys). Pintavesimallia on käytetty tukityökaluna arvioitaessa, kuinka poistoveden ja purkukohtien eri jaot vaikuttavat vesistön ekologiseen ja kemialliseen tilaan.



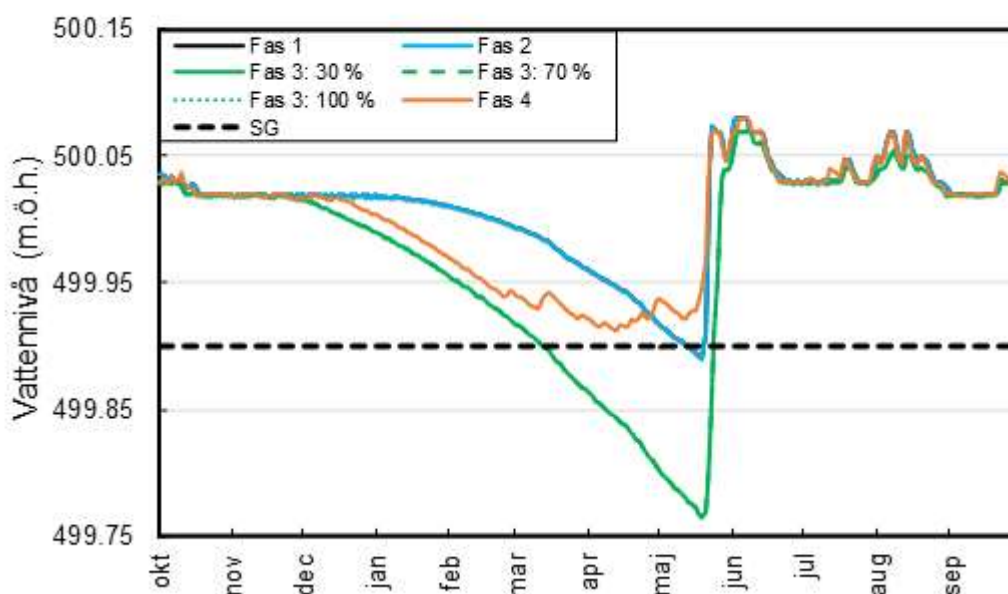
Kuva 9-4. Käsitteellinen pintavesimalli, joka sisältää suunnitellut purkukohtat Luossajärvessä ja Luossajärven purkukanavassa: (1) Stora Abbortjärnistä tuleva vesi. (2) Pumppuvirtaus Luossajärvestä Luossajokeen. (3) Purkukanava Luossajärvestä. (4) Kaivoksesta kanavaan ohjattava poistovesi. (5) Ylijouksuvesi ja pohjaveden vuoto purkukanavasta Tvillingtjärnsystemiin. (6) Pohjaveden vuoto Luossajärvestä Tvillingtjärnsystemiin. (7) Luossajärven tulokohta. (8) Stora Abbortjärnistä tuleva vesi sekoittuu Luossajärven kanavan veteen. (9) Vesi pisteestä (8) sekoittuu Tvillingtjärnsystemiin.

9.2.1 Vaikutus vedenpinnan korkeuksiin kaivoksen eri vaiheissa

Tässä osassa kuvataan, kuinka kaivoksen eri vaiheet vaikuttavat Luossajärven pinnankorkeuteen. Laskelma perustuu hydrologisesti määriteltyyn normaalivuoteen (2013–2014), ks. luku 4.2.2. Nykytila (vaihe 1) esitetään ja sitä verrataan laskettuun veden

pinnankorkeuteen vaiheesta 2 (tyhjennysvaihe) vaiheeseen 4 (jälkihoitovaihe), Figur 9-5. Vaihe 2 ei vaikuta Luossajärven pinnankorkeuteen verrattuna nykytilaan. Sitä vastoin veden pinta laskee turvarajan alapuolelle vaiheessa 3, mikä koskee kaikkia vaiheen 3 alivaiheita (30%, 70% ja 100%). Vaiheen 3 kaikki eri alivaiheet johtavat samaan vaikutukseen pinnankorkeuden osalta. Tämän vaikutuksen syyksi voidaan päätellä ennen muuta vähentynyt pintaveden valuminen, kun pinta- ja pohjavesi ohjataan muualle toiminta-alueella. Kun kaivoksen vedenpoisto loppuu vaiheessa 4, veden pinta nousee uudelleen ja pysyy turvarajan yläpuolella koko simuloidun hydrologisen vuoden ajan.

Luossajärvi - Vattennivå



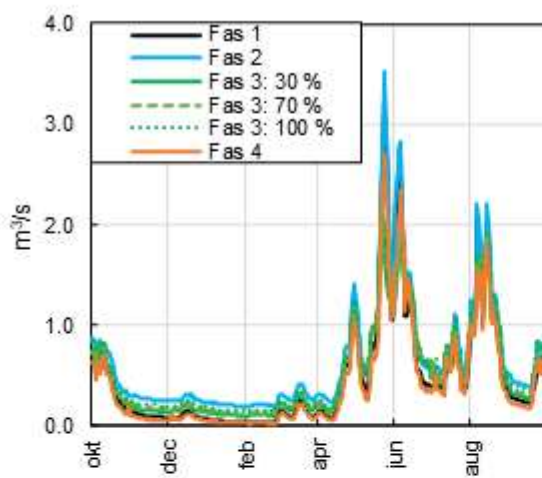
Kuva 9-5. Luossajärven vedenkorkeusskenaariot eri vaiheissa. Kuvaan on merkitty myös voimassa oleva alaraja (SG). Huomaa, että vaiheet 1 ja 4 ovat samankaltaisella tasolla. Sama koskee vaiheita 3:30 %, 3:70 % ja 3:100 %.

9.2.2 Vaikutus virtaamiin kaivoksen eri vaiheissa

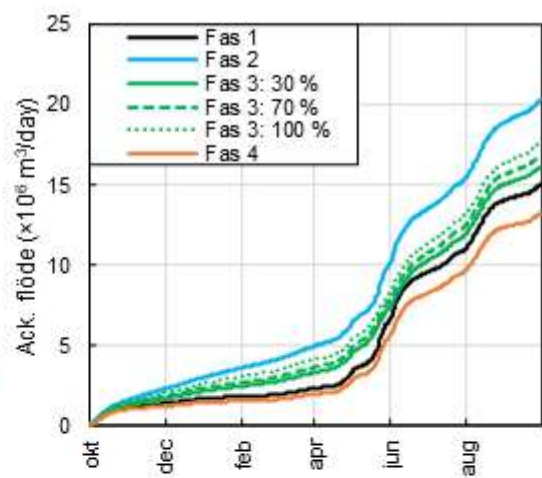
Tämänhetkiset ja tulevat virtaamat vaiheesta 1 vaiheeseen 4 on laskettu mallinnusalueen kaikille mittauspisteille (Tabell 9-3). Laskelma perustuu hydrologisesti määriteltyyn normaalivuoteen (2013–2014), ks. luku 4.2.2. Figur 9-6 kuvaa esimerkkiä lasketuista virtaamista AVA02:ssa (Luossajärvestä alavirtaan) ja KVA179:ssä (ennen Rautasjoen luusuaa) (kuva 4-12). Tabell 9-3 sisältää yhteenvedon kertyneen virtaaman eroista eri vaiheiden välillä kaikissa mittauspisteissä.

Kaikissa vaiheissa vaiheesta 2 (tyhjennysvaihe) alkaen haettu toiminta tarkoittaa sitä, että nykyisen veden täyttämän kaivoksen vedenpoisto lakkaa (Figur 5-1 ja Figur 9-4). Tällöin virtaama Tvillingtjärn-järjestelmän luusuaasta muuttuu suoraan. Lisäksi pohjavettä virtaa vesistöön vähemmän kaikissa vaiheissa vaiheesta 2 vaiheeseen 4. Vaiheessa 2 kaivos tyhjenetään vedestä. Tällöin tällä hetkellä veden täyttämän kaivoksen vedenpoisto lakkaa ja vaiheessa 3 tapahtuu pohjaveden laskua, joka johtuu pohjaveden ohjauksesta pois kaivoksesta. Pohjavesitasot eivät ole ehtineet palautua vaiheessa 4, joten pohjavettä virtaa vesistöön vähemmän myös tässä vaiheessa. Tästä huolimatta virtaamat AVA02:ssa ja KVA179:ssä kasvavat vaiheissa 2 ja 3. Tämä johtuu veden virtausreittien muutoksista ja poistoveden purusta kanavaan Luossajärvestä alavirtaan. Lisäys on kuitenkin suurempi vaiheessa 2 kuin vaiheen 3 kaikissa alivaiheissa. Tarkempi selvitys vaikutuksesta purkuvesistöjen virtaamiin esitetään liitteessä B5.

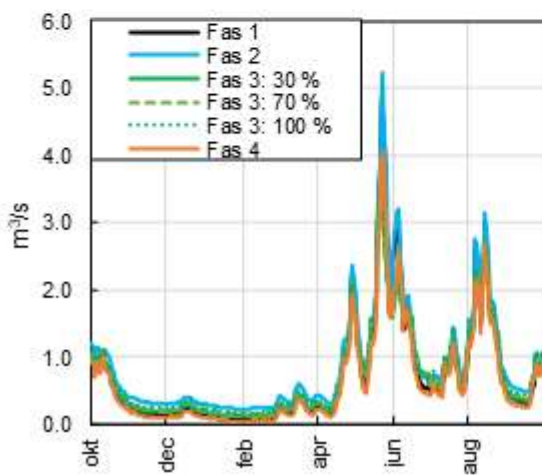
(a) AVA02



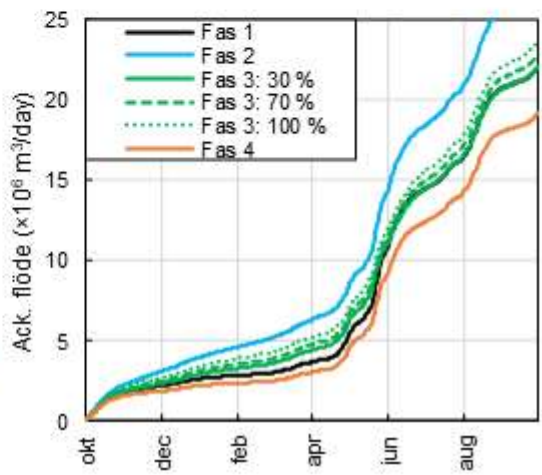
(b) AVA02



(c) KVA179



(d) KVA179



Kuva 9-6. Virtaamaskenaariot asemille AVA02 ja KVA179, normaalivuosi, seuraavat vaiheet: Vaihe 1, vaihe 2, vaihe 3:30%, vaihe 3:70%, vaihe 3:100% ja vaihe 4.

Taulukko 9-3 Kertynyt virtaama lasketuissa mittauspisteissä nykytilanteessa kaikille vaiheille. Taulukko sisältää myös prosenttimääräisen muutoksen normaalivuoteen verrattuna (positiiviset luvut

Kertynyt virtaama (×10 ⁶ m ³)							Prosenttimääräinen muutos (%)				
Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3:			Vaihe 4	Vaihe 2	Vaihe 3:			Vaihe 4	
		30 %	70 %	100 %			30 %	70 %	100 %		
Luossajärven tulokohta											
VVA17	5,49	5,49	3,46	3,46	3,46	5,17	0,0	-37	-37	-37	-5,9
Luossajärven luusua (kanava)											
KVA145	6,10	6,10	4,08	4,08	4,08	5,74	0,0	-33	-33	-33	-5,9
Tvillingjärn-järvijärjestelmä											
AVA01	2,69	2,70	1,64	1,64	1,64	1,64	0,0	-39	-39	-39	-39
Stora Abbortjärn											
AVA19	6,42	6,43	5,59	5,59	5,60	5,60	0,0	-13	-13	-13	-13
AVA14	7,95	7,95	6,74	6,74	6,74	6,74	0,0	-15	-15	-15	-15
Pahtajoki											
AVA02	15,0	20,3	16,1	16,8	17,7	13,2	35	7,4	12	18	-12
AVA29	18,2	23,5	18,3	19,0	19,9	15,4	29	0,4	4,3	8,9	-15
AVA18	21,1	26,4	21,2	21,9	22,8	18,3	25	0,3	3,8	7,8	-13
KVA179	22,0	27,2	22,0	22,8	23,6	19,5	24	0,2	3,6	7,5	-13

tarkoittavat lisäystä ja negatiiviset luvut vähennystä).

9.2.3 Vaikutus vedenlaatuun kaivoksen eri vaiheissa

Vesistöjen tämänhetkiset ja tulevat pitoisuudet vaiheesta 1 vaiheeseen 4 on laskettu mallinnusalueen kaikille mittauspisteille. Eri vaiheet on kuvattu kohdassa 2.3. Laskelmat perustuvat hydrologisesti määriteltyyn normaalivuoteen (2013–2014), ks. luku 4.2.2. Figur 9-7 tässä luvussa esittää eri vaiheiden lasketut pitoisuudet valituissa mittauspisteissä. Kuva näyttää eri aineiden vuosikeskipitoisuudet eri vaiheissa Pahtajoen varrella olevissa mittauspisteissä normaalivuonna. Nämä antavat hyvän yleiskuvan siitä, miten ainepitoisuudet vaihtelevat Pahtajoella. Selvitys kaikkien aineiden vuosikeskipitoisuuksista kaikissa vaiheissa valituissa pisteissä on kohdassa

Tabell 9-4. Alla on kuvattu, kuinka eri aineiden pitoisuuksien yleinen malli vaihtelee vaiheiden välillä. Kaikki aineet on sisällytetty laskelmiin vaiheesta 1 vaiheeseen 3. Vaiheen 4 osalta on laskettu vain Cu-, U- ja Zn-pitoisuudet. Ylijuoksuveden puhdistuksen oletetaan jatkuvan vaiheessa 2 sekä kaikissa vaiheen 3 alivaiheissa. Puhdistus koskee aineita Co, Cu, Zn ja U, kun taas vaiheessa 4 puhdistetaan vain Cu, Zn ja U.

Kalsium (Ca)

Vaiheessa 1 (nykytila) Pahtajoen pitoisuudet AVA02:sta ovat suuremmat kuin taustapitoisuudet (laskettu AVA14:stä), koska LKAB:n toiminnasta tuleva vesi valuu Luossajärvestä. AVA29:ssä, joka sijaitsee Pahtajoessa alavirtaan Tvillingtjärn-järjestelmän luusuasta, vuosikeskipitoisuus on 37 mg/l verrattuna arvoon 5 mg/l AVA14:ssä. AVA29:stä alavirtaan pitoisuudet laimentuvat ja laskevat arvoon 33 mg/l Pahtajoen luusuassa (KVA179). Vaiheessa 2 (nykyisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä) pitoisuuksien odotetaan nousevan arvosta 28 mg/l arvoon 45 mg/l AVA02:ssa, koska kanavaan virtaa enemmän ylijuoksuveettä. Tyhjennys tapahtuu tasaisemmalla virtauksella 0,17 m³/s pitoisuuden ollessa suunnilleen puolet Luossajärven pitoisuudesta. Ylijuoksuveden virtaus kanavassa johtaa vakaampaan pitoisuuteen AVA02:n jälkeen. Pitoisuuden lasketaan laimenevan arvoon 41 mg/l KVA179:ssä Tvillingtjärn-järvijärjestelmästä tulevan lisäveden ansiosta. Vaiheessa 3 vesistöön tulevan valuman oletetaan vähentyvän AVA14:sta ylävirtaan sijaitsevalla alueella johtuen pohjaveden ohjauksesta muualle ja veden virtausreittien muutoksista tulevassa kaivostoiminnassa. Virtaaman muutos nostaa vuosikeskipitoisuuden 5,0:sta lukemaan 5,3 mg/l. Myös valuma Luossajärveen vähenee, koska vettä ohjataan pumppujen ja ojien avulla kaivoksen vesienkäytön puitteissa. Tämän uuden reitityksen lasketaan nostavan pitoisuutta järvessä arvosta 184 mg/l (vaihe 2) arvoon 217 mg/l (vaihe 3: 100%). Tämä vaikuttaa pitoisuuksiin myös Tvillingtjärn-järvijärjestelmässä, jossa pitoisuuden lasketaan nousevan arvosta 102 mg/l arvoon 123 mg/l (AVA01). AVA02:n pitoisuuksien lasketaan myös nousevan arvoon 116 mg/l (vaihe 3: 100%) lisääntyneen ylivuotovirtaaman vuoksi, mutta ne laimentuvat Pahtajoen luusuahan päin arvoon 102 mg/l (vaihe 3: 100%).

Kloridi (Cl)

Vaiheessa 1 (nykytila) Pahtajoen pitoisuudet AVA02:ssa ovat suuremmat kuin taustapitoisuudet, suurimpana lähteenä puhdistamaton vesi Luossajärvestä LKAB:n toiminnasta. AVA29:ssä vuosikeskipitoisuus on 18 mg/l verrattuna AVA14:n lukemaan 0,5 mg/l. Pitoisuudet laskevat jonkin verran KVA179:ää kohti, koska ympäröivästä maasta tuleva lisävesi laimentaa niitä. KVA179:ssä pitoisuuden lasketaan olevan 16 mg/l. Vaiheessa 2 (nykyinen kaivos tyhjennetään vedestä virtausnopeudella 600 m³/h) pitoisuuksien odotetaan laskevan arvosta 14 mg/l arvoon 11 mg/l AVA02:ssa, koska kanavaan virtaa enemmän ylijuoksuveettä, jossa on alhainen Cl-pitoisuus. Pitoisuuksien lasketaan nousevan jonkin verran AVA29:ssä, koska Luossajärvestä tulee lisäveettä Tvillingtjärn-järjestelmän kautta. Pitoisuudet pysyvät sen jälkeen suhteellisen vakaina ja laimentuvat hieman luusuassa KVA179. Myöhemmin vaiheessa 3 on aikomuksena ohjata muualle pintavaluma Luossajärveen. Tämän uuden reitityksen lasketaan nostavan pitoisuutta järvessä arvosta 67 mg/l (vaihe 1) arvoon 86 mg/l (vaihe 3: 100%). Tästä huolimatta pitoisuus laskee AVA02:een päin arvoon 11 mg/l (vaihe 3: 100 %), koska kanavaan tulee ylijuoksuveettä, jossa on alhainen pitoisuus. Pitoisuus nousee jälleen arvoon 14 mg/l (vaihe 3: 100 %) AVA29:ssä, koska Tvillingtjärn-järjestelmästä tulee lisäveettä. Tämän jälkeen pitoisuus jälleen laskee, koska ympäröivästä maasta valuva vesi laimentaa sen arvoon 12 mg/l Pahtajoen luusuassa (KVA179).

Kupari (Cu)

Vaiheessa 1 (nykytila) Pahtajoen pitoisuudet ovat suurimmillaan Luossajärvessä lähinnä Viscarian toiminta-alueelta tulevan puhdistamattoman veden vuoksi. AVA14:n taustapitoisuudet ovat myös suhteellisen suuria, mikä viittaa siihen, että ylävirtaan AVA14:stä on luonnollinen Cu-lähde. Pitoisuudet laskevat tämän jälkeen alavirtaan päin, mikä voidaan todeta Pahtajoen varrella olevista mittauspisteistä. Pitoisuuden laskun Pahtajoen luusuahan päin katsotaan liittyvän lähinnä kosteikkoprosesseihin. Tietty laimentuminen voidaan myös yhdistää Tvillingtjärn-järjestelmästä tulevaan veteen, jossa on alemmat pitoisuudet. Vaiheessa 2 (nykyinen kaivos tyhjennetään vedestä virtausnopeudella

600 m³/h) pitoisuuksien odotetaan nousevan arvosta 0,8 µg/l arvoon 1,2 µg/l AVA02:ssa, koska kanavaan virtaa enemmän ylijuoksuvettä, jossa on suuri Cu-pitoisuus. Kosteikkoprosessien ja laimentumisen yhdistelmä laskee pitoisuuden arvoon 1,1 µg/l KVA179:ssä. Vaiheessa 3 pintavaluma Luossajärveen vähenee, koska pinta- ja pohjavettä ohjataan uudelleen ja muualle kaivoksen vesienkäytön puitteissa. Tämän uuden reitityksen lasketaan alentavan pitoisuutta järvessä ja Tvillingtjärn-järjestelmässä jonkin verran. Kaivostoiminnan poistoveden pitoisuudet kuitenkin nousevat, jolloin AVA02:n pitoisuus saavuttaa noin arvon 1,1 µg/l (vaihe 3: 100%). Sitten pitoisuus laimentuu arvoon 1,0 µg/l KVA179:ssä.

Koboltti (Co)

Vaiheessa 1 (nykytila) Pahtajoen pitoisuudet AVA29:ssä ovat samankaltaiset kuin taustapitoisuudet (laskettu AVA14:stä) eli 0,05 µg/l. Tämä viittaa kohonneisiin kobolttipitoisuuksiin vedessä, jota tällä hetkellä poistetaan veden täyttämistä kaivoksesta. Nämä pitoisuudet kuitenkin laskevat nopeasti veden kulkeutuessa Tvillingtjärn-järjestelmän läpi, koska ympäröivissä kosteikoissa on käynnissä erilaisia prosesseja. Pitoisuudet pysyvät vakaina arvossa 0,05 µg/l KVA179:n luusuaan asti. AVA02:ssa pitoisuuksien lasketaan nousevan vaiheessa 2 arvosta 0,04 µg/l arvoon 0,17 µg/l, koska ylijuoksuvettä virtaa enemmän. Pitoisuus laimentuu arvoon 0,15 µg/l KVA179:ssä. Myöhemmin vaiheessa 3 pitoisuuksien lasketaan nousevan arvoon 0,29 µg/l (vaihe 3: 100%). Vaiheen 2 tavoin pitoisuus kuitenkin laskee jatkuvasti Pahtajokea pitkin mentäessä arvoon 0,25 µg/l (vaihe 3:100 %).

Liennut orgaaninen hiili (DOC)

Nykytilanteessa DOC-pitoisuudet ovat suurempia AVA14:ssä verrattuna Luossajärveen ja Tvillingtjärn-järjestelmään. Tämä johtuu luultavasti siitä, että DOC-pitoisuudet liittyvät kiinteästi ylävirtaan sijaitsevien alueiden, kuten kosteikoiden, orgaanisen materiaalin osuuteen. Luossajärveen ja Tvillingtjärn-järjestelmään kulkeutuu alueella hyvin vähän orgaanista materiaalia, kun taas AVA14:stä ylävirtaan sijaitsevilla alueilla on suhteellisen paljon kosteikoita. Näiden eri alueiden sekoittuminen johtaa vuosikeskipitoisuuteen 4,1 mg/l luusuassa KVA179. Vaiheessa 2 vain kanavaan päästettävän puhdistetun poistoveden oletetaan vaikuttavan pitoisuusmuutokseen. Poistoveden pitoisuudet ovat alhaisia ja laimentavat näin ollen pitoisuuksia AVA02:sta alavirtaan. Tämän tuloksena KVA179:n pitoisuus laskee arvoon 2,5 mg/l. Vaiheessa 3 pitoisuuksien lasketaan olevan samankaltaisia kuin vaiheissa 1 ja 2. Hieman muuttuneet pitoisuudet voidaan yhdistää veden uudelleenohjaukseen toiminta-alueella, mikä vähentää virtaamaa AVA14:ssä, Luossajärvessä ja Tvillingtjärn-järjestelmässä. KVA179:ssä pitoisuuden lasketaan olevan hieman yli 3 mg/l (vaihe 3: 100%).

Nitraatti (NO₃)

Pahtajoen suuret pitoisuudet nykytilassa (vaihe 1) ovat peräisin pääasiassa olemassa olevasta kaivostoiminnasta Luossajärven ja Tvillingtjärn-järjestelmän ollessa pääasialliset lähteet. Tämän vuoksi AVA29:n vuosikeskipitoisuuden lasketaan olevan 1,6 mg/l, jota voidaan verrata taustapitoisuuteen 0,06 mg/l (laskettu AVA14:stä). Pitoisuudet AVA29:stä alavirtaan laimentuvat jonkin verran, mikä johtaa pitoisuuteen 1,5 mg/l poistokohdassa KVA179. Vaiheessa 2 pitoisuuksien ei oleteta muuttuvan sen lisäksi, että tyhjennyksestä tulee vettä, jossa on alhaisia NO₃-pitoisuuksia. Tämä lisäys laimentaa pitoisuutta KVA179:ssä entisestään, ja pitoisuudeksi lasketaan noin 0,9 mg/l. Vaiheessa 3 valuma Luossajärveen reititetään uudelleen, mikä nostaa järven ja Tvillingtjärn-järjestelmän pitoisuutta. Pitoisuusmuutokset vaiheen 3 eri alivaiheissa (30%, 70% ja 100%) louhittuun kaivoksessa voidaan yhdistää erilaisiin laskettuihin pitoisuuksiin järjestelmän poistovedessä. AVA29:n pitoisuuden vaiheessa 3:100% lasketaan olevan hieman yli 9 mg/l. Pitoisuuksien lasketaan alentuvan jonkin verran KVA179:n luusuassa, hieman alle arvoon 9 mg/l.

Sulfaatti (SO₄)

Pahtajoen suuret pitoisuudet nykytilassa (vaihe 1) ovat peräisin pääasiassa olemassa olevasta kaivostoiminnasta LKAB:n toiminnan poistoveden ja Luossajärven kautta. Lisäystä suuriin pitoisuuksiin tulee myös poistovedestä, joka vuotaa tällä hetkellä veden täyttämistä kaivoksesta Viscarian toiminta-alueella ja joka ohjautuu Tvillingtjärn-järjestelmän kautta,

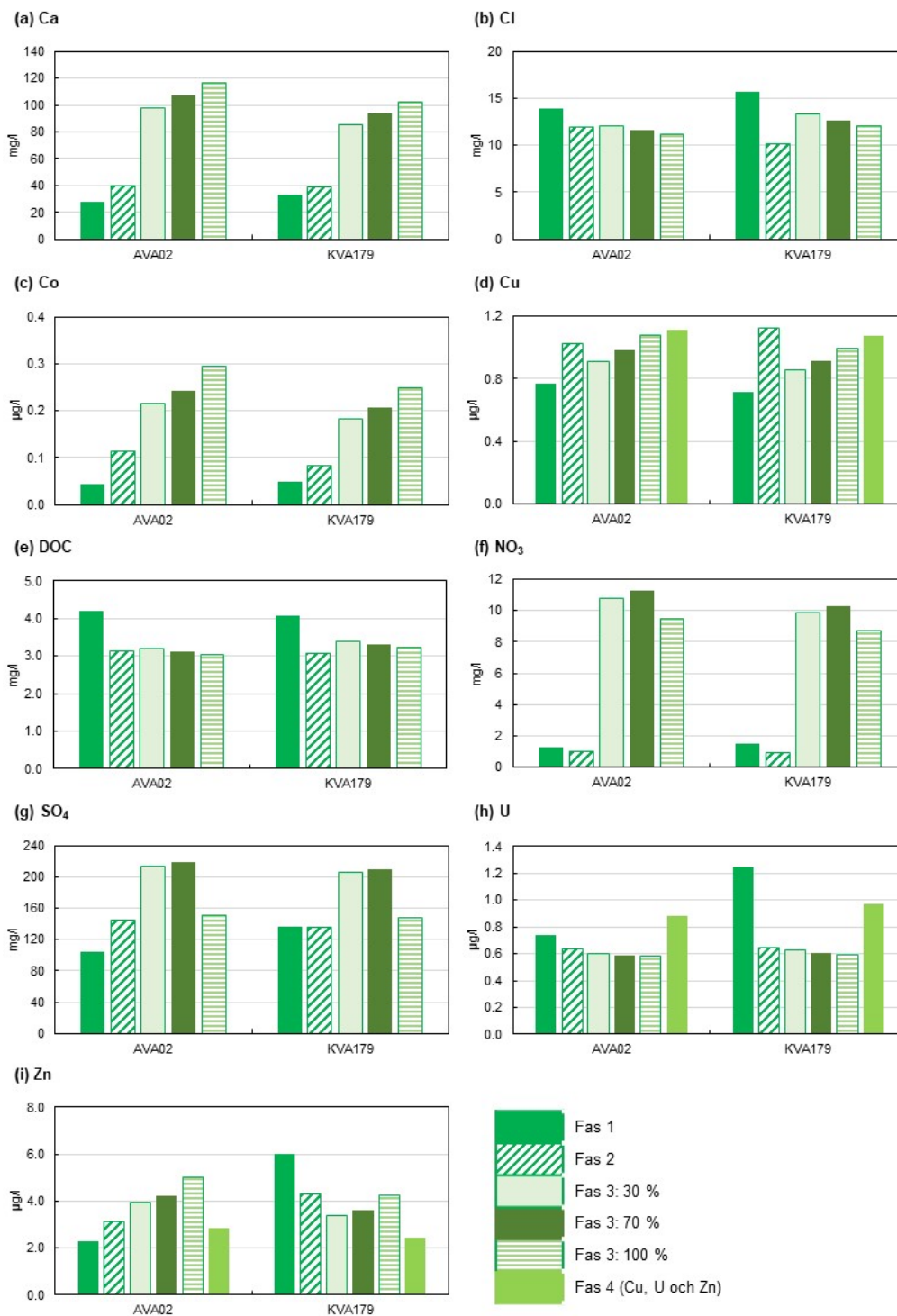
mutta tämä lisäys on hieman vähäisempi. Tämän vuoksi AVA29:n vuosikeskipitoisuuden lasketaan olevan 152 mg/l, jota voidaan verrata hieman yli 2 mg/l:n taustapitoisuuteen (laskettu AVA14:stä). Pitoisuudet AVA29:stä alavirtaan laimentuvat jonkin verran, mikä johtaa pitoisuuteen 136 mg/l poistokohdassa KVA179. Vaiheessa 2 pitoisuuksien ei oleteta muuttuvan sen lisäksi, että nykyisen kaivoksen tyhjennyksestä tulee vettä, jossa on suuria SO₄-pitoisuuksia. Tämä lisäys suurentaa pitoisuutta KVA179:ssä, ja pitoisuudeksi lasketaan noin 200 mg/l. Vaiheessa 3 pintavaluma Luossajärveen reititetään uudelleen, mikä nostaa järven ja Tvillingtjärn-järjestelmän pitoisuutta. Luossajärvessä pitoisuus nousee noin 510:stä 620:een mg/l. Pitoisuusmuutokset vaiheen 3 eri alivaiheissa (30%, 70% ja 100%, täysin louhittu kaivos) voidaan yhdistää erilaisiin laskettuihin pitoisuuksiin järjestelmän poistovedessä. Tämän tuloksena AVA29:n pitoisuuden lasketaan olevan 162 mg/l (vaihe 3: 100%). Pitoisuuksien lasketaan alentuvan jonkin verran KVA179:n luusuassa, noin arvoon 147 mg/l.

Uraani (U)

Pahtajoen suuret pitoisuudet nykytilassa (vaihe 1) ovat peräisin pääasiassa Luossajärvestä ja vanhasta kaivoksesta Tvillingtjärn-järjestelmän kautta. Tämän vuoksi AVA29:n vuosikeskipitoisuuden lasketaan olevan 1,4 µg/l, jota voidaan verrata taustapitoisuuteen 0,07 µg/l (laskettu AVA14:stä). Laimentumisen ja kosteikkoprosessien yhdistelmä laskee pitoisuuden arvoon 1,2 µg/l poistokohdassa KVA179. Vaiheessa 2 pitoisuuksien ei oleteta muuttuvan sen lisäksi, että nykyisen kaivoksen tyhjennyksestä tulee poistovettä, jossa on pieniä U-pitoisuuksia. Tämä lisäys pienentää pitoisuutta KVA179:ssä, ja pitoisuudeksi lasketaan noin 0,8 µg/l. Vaiheessa 3 Luossajärven ja AVA14:n pitoisuuksien oletetaan nousevan jonkin verran, kun pinta- ja pohjavesien ohjaus muualle vaikuttaa valumaan. Vedenpoisto tällä hetkellä veden täyttämästä kaivoksesta päättyy vaiheissa 2 ja 3, joten Tvillingtjärn-järjestelmän pitoisuus alentuu näissä vaiheissa. Tämä lisäys laimentaa pitoisuutta KVA179:ssä niin, että sen lasketaan olevan noin 0,8 µg/l vaiheessa 2 ja 0,6 µg/l vaiheessa 3:100%. Lopuksi vaiheessa 4 Luossajärven ja Tvillingtjärn-järjestelmän pitoisuuksien lasketaan olevan hieman pienempiä kuin vaiheessa 1, koska poistovesi vaikuttaa laimentavasti. Vähentynyt lisäys pintavalumasta pitää myös pitoisuuksia suurina AVA14:ssä, kuten vaiheessa 3. Tämän tuloksena pitoisuuksien KVA179:n poistokohdassa lasketaan olevan 0,85 µg/l, mikä on vähemmän kuin laskettu pitoisuus vaiheessa 1.

Sinkki (Zn)

Nykytilassa (vaihe 1) AVA02:n pitoisuudet eivät ole paljon suurempia kuin taustapitoisuudet (laskettu AVA14:stä). Tähän eivät vaikuta Luossajärven suhteellisen suuret pitoisuudet. Syinä pitoisuuden laskuun järven ja AVA02:n välillä ovat kosteikkoprosessit sekä ympäröivän maan aiheuttama laimentuminen. Pitoisuudet nousevat uudelleen AVA29:ssä, koska tällä hetkellä veden täyttämistä kaivoksesta tulee poistovettä, joka johdetaan Tvillingtjärn-järjestelmään. AVA29:n pitoisuudeksi lasketaan 6,2 µg/l. Laimentuminen ja kosteikkoprosessit pienentävät pitoisuutta jonkin verran KVA179:n purkupisteessä, jossa laskettu pitoisuus on 6,0 µg/l. Vaiheessa 2 pitoisuuksien ei oleteta muuttuvan sen lisäksi, että nykyisen kaivoksen tyhjennyksestä tulee poistovettä, jossa on suhteellisen suuria Zn-pitoisuuksia. Järjestelmän virtausmuutosten ja Tvillingtjärn-järjestelmästä tulevan lisäyksen yhdistelmä alentaa pitoisuuden AVA29:ssä arvoon 5,0 µg/l verrattuna arvoon 6,2 µg/l vaiheessa 1. Pitoisuus laimentuu entisestään jonkin verran, arvoon 4,8 µg/l poistokohdassa KVA179. Vaiheessa 3 pitoisuuksien ei odoteta muuttuvan Luossajärvestä ja AVA14:ssä. Sitä vastoin kaivoksen vesien uudelleenreititys ja kosteikkoprosessit pienentävät pitoisuutta Tvillingtjärn-järjestelmässä. Suuret pitoisuudet vedenpoistosta vaiheen 3 kaikissa alivaiheissa tuottavat jonkin verran suurempia pitoisuuksia AVA02:ssa. Tämä johtaa lopulta siihen, että pitoisuus poistokohdassa KVA179 on 4,2 µg/l vaiheessa 3:100%. Lopuksi vaiheessa 4 Luossajärven ja Tvillingtjärn-järjestelmän pitoisuuksien lasketaan olevan hieman suurempia kuin vaiheessa 3 Viscarian poistoveden vuoksi. Vähentynyt lisäys pintavalumasta pitää myös pitoisuuksia suurina AVA14:ssä, kuten vaiheessa 3. Tämä johtaa KVA179:ssä laskettuun pitoisuuteen 2,4 µg/l, jota voidaan verrata arvoon 6,0 µg/l vaiheessa 1.



Kuva 9-7. Mallinnetut normaalivuoden pitoisuudet, kun vedenpoisto tapahtuu kanavaan, vaiheessa 1 (nykytila), vaiheessa 2 ja vaiheessa 3: 30%, vaihe 3: 70% ja vaihe 3: 100%. Taulukko kattaa seuraavat: (a) Ca, (b) Cl, (c) Co, (d) Cu, (e) DOC, (f) NO₃, (g) SO₄ (h) U ja (i) Zn. Kuvat sisältävät kaksi esimerkkiä: AVA02 ja KVA179. Vaiheen 4 osalta näytetään myös aineet (d) Cu, (h) U ja (i) Zn

Taulukko 9-4 Kaikkien valittujen aineiden vuosittaiset lasketut keskipitoisuudet kaikilla mittausasemilla. Vuosikeskipitoisuudet kattavat normaalivuoden vaiheille 1, 2 ja 3: 30%, vaihe 3: 70%, vaihe 3: 100% ja vaihe 4.

	Ca mg/l	Cl mg/l	Co µg/l	Cu µg/l	DOC mg/l	NO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	U µg/l	Zn µg/l
KVA145									
1	184	67	0,08	2,3	4,9	6,2	509	15	5,3
2	184	67	0,08	2,3	4,9	6,2	509	15	5,3
3: 30	217	86	0,05	1,9	4,6	10,7	622	18	5,5
3: 70	217	86	0,05	1,9	4,6	10,7	622	18	5,5
3: 100	217	86	0,05	1,9	4,6	10,7	622	18	5,5
4	-	-	-	5,4	-	-	-	15	7,7
AVA01									
1	102	22	0,32	0,59	3,4	2,1	250	11	34
2	102	22	0,32	0,60	3,4	2,1	251	11	34
3: 30	123	50	0,001	0,50	4,4	6,2	359	7,0	0,8
3: 70	123	50	0,001	0,50	4,4	6,2	359	7,0	0,8
3: 100	123	50	0,001	0,50	4,4	6,2	359	7,0	0,8
4	-	-	-	1,4	-	-	-	5,8	1,1
AVA19									
1	4,8	0,50	0,05	0,74	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
2	4,8	0,50	0,05	0,74	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
3: 30	5,1	0,52	0,05	0,70	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
3: 70	5,1	0,52	0,05	0,70	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
3: 100	5,1	0,52	0,05	0,70	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
4	-	-	-	0,70	-	-	-	0,07	1,9
AVA14									
1	5,0	0,51	0,05	0,77	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
2	5,0	0,51	0,05	0,77	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
3: 30	5,3	0,53	0,05	0,73	4,0	0,06	2,3	0,07	1,9
3: 70	5,3	0,53	0,05	0,73	4,0	0,06	2,3	0,07	1,9
3: 100	5,3	0,53	0,05	0,73	4,0	0,06	2,3	0,07	1,9
4	-	-	-	0,73	-	-	-	0,07	1,9
AVA02									
1	28	14	0,04	0,77	4,2	1,3	104	0,74	2,3
2	45	11	0,17	1,2	2,3	1,0	213	0,64	3,9
3: 30	98	12	0,22	0,91	3,2	11	214	0,60	3,9
3: 70	108	12	0,24	0,98	3,1	11	220	0,59	4,2
3: 100	116	11	0,29	1,1	3,1	9,5	151	0,58	5,0
4	-	-	-	1,1	-	-	-	0,77	2,8
AVA29									
1	37	18	0,05	0,71	4,0	1,6	152	1,4	6,2
2	45	12	0,16	1,1	2,4	1,1	215	0,88	5,0
3: 30	94	15	0,19	0,86	3,3	10	224	0,70	3,6
3: 70	102	14	0,22	0,93	3,2	11	227	0,68	3,9
3: 100	111	14	0,27	1,0	3,2	9,2	162	0,66	4,6
4	-	-	-	1,1	-	-	-	0,96	2,5
AVA18									
1	34	16	0,05	0,71	4,1	1,5	139	1,3	6,1
2	42	11	0,16	1,1	2,5	1,0	203	0,81	4,8
3: 30	87	14	0,18	0,85	3,4	10	209	0,64	3,4
3: 70	96	13	0,21	0,91	3,3	10	213	0,62	3,7
3: 100	104	12	0,25	1,0	3,2	8,8	151	0,60	4,3
4	-	-	-	1,1	-	-	-	0,87	2,4
KVA179									
1	33	16	0,05	0,71	4,1	1,5	136	1,2	6,0
2	41	11	0,15	1,1	2,5	0,94	200	0,80	4,8
3: 30	85	13	0,18	0,85	3,4	10	205	0,62	3,4
3: 70	94	13	0,21	0,91	3,3	10	209	0,60	3,6
3: 100	102	12	0,25	0,99	3,2	8,8	147	0,59	4,2
4	-	-	-	1,1	-	-	-	0,85	2,4

9.3 Eri tyyppivuosien vaikutus täysin louhitussa kaivoksessa

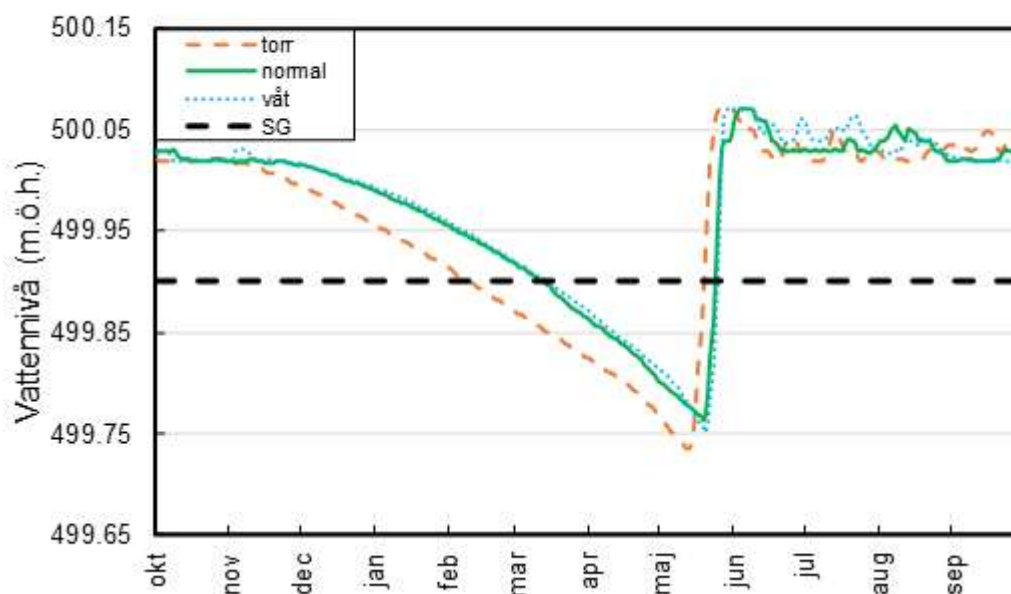
Tässä luvussa kuvataan, kuinka eri tyyppivuodet vaikuttavat virtaamiin, veden pinnankorkeuteen ja pitoisuuksiin vaiheessa 3:100% eli täysin louhitussa kaivoksessa. Kuivaa, märkää ja normaalivuotta on simuloitu ja verrattu vastaaviin tuloksiin kultakin tyyppivuodelta tämänhetkissä olosuhteissa.

9.3.1 Vaikutus veden pinnankorkeuteen täysin louhitussa kaivoksessa

Osassa 9.2.1 kuvataan vaikutusta veden pinnankorkeuteen kaivoksen eri kehitysvaiheissa. Seuraavassa osassa kuvataan mallinnettuja tuloksia siitä, kuinka Luossajärven pinnankorkeus täysin louhitun kaivoksen yhteydessä (vaihe 3:100%) vaihtelee eri tyyppivuosina, ja tulokset on kuvattu kohdassa Figur 9-8. Kaikissa tapauksissa kaikki vesi poistetaan Luossajärvestä purkukanavaan (virtaama 4, Figur 9-4)

Täysin louhittua kaivosta koskevan tulevaisuusskenaarion tulokset (vaihe 3:100%) osoittavat, että järven pinnankorkeus uhkaa laskea turvarajan (SG) alapuolelle kaikkina tyyppivuosina niin, että tasot ovat alimmat kuivina vuosina. Märkien vuosien ja normaalivuosien alimmat tasot ovat hyvin samankaltaiset. Kriittinen ajanjakso, jolloin tasot laskevat turvarajan alapuolelle, on loppupalvesta ennen lumien sulamista. Lumen sulaessa järven pinta nousee reilusti yli turvarajan kesän ja syksyn sekä alkupalven ajaksi.

Luossajärvi - Vattennivå



Kuva 9-8 Luossajärven vedenkorkeuden muutoksen vertailu eri tyyppivuosina täysin louhitun kaivoksen yhteydessä (vaihe 3:100%). Turvaraja (SG) näkyy kuvassa mustana katkoviivana.

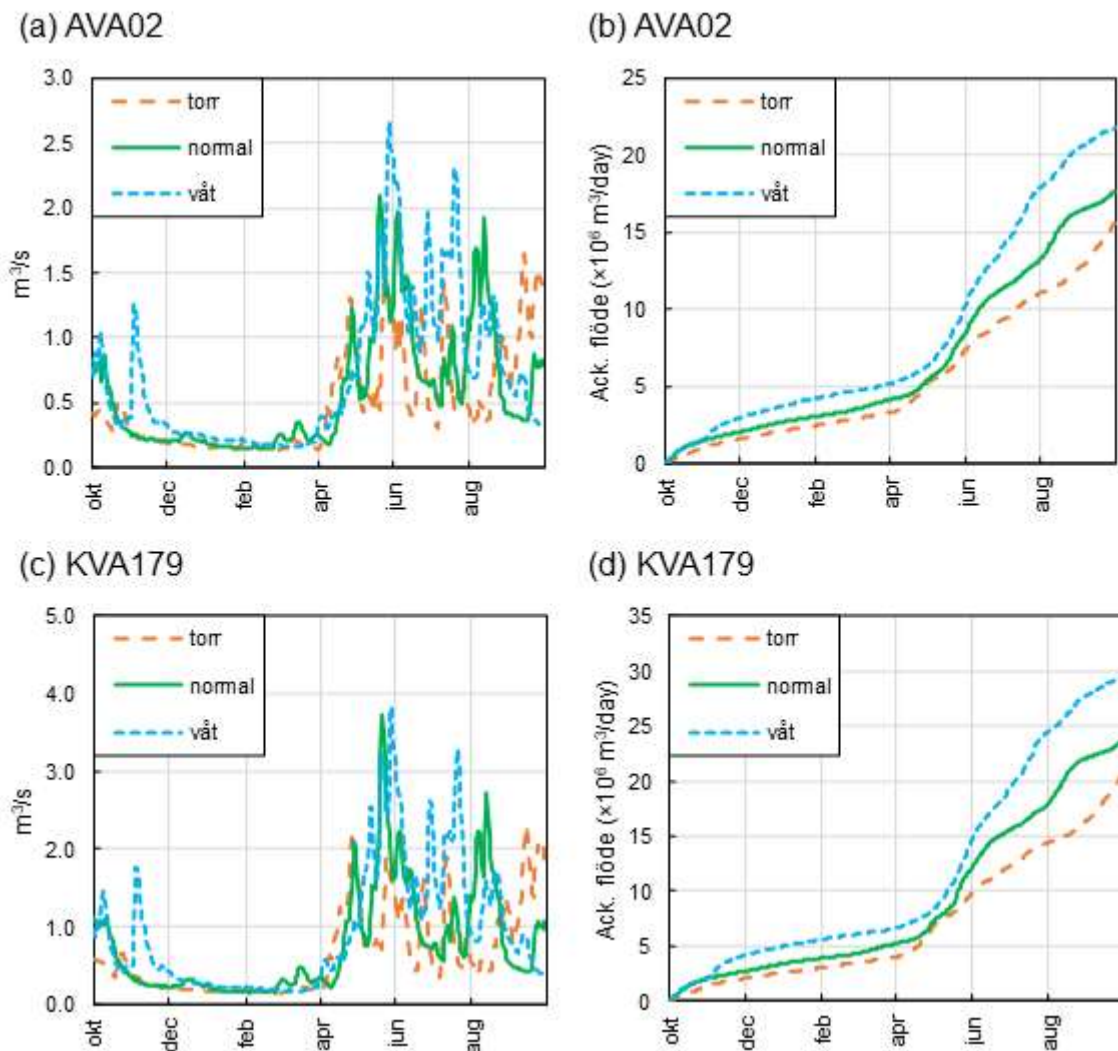
9.3.2 Vaikutus virtaamiin täysin louhitussa kaivoksessa

Luvussa 9.2.2 kuvataan vaikutusta virtaamiin kaivoksen eri kehitysvaiheissa. Seuraavassa osassa esitetään mallinnetut tulokset siitä, kuinka virtaamat valituilla havaintoasemilla vaihtelevat eri tyyppivuosina täysin louhitun kaivoksen yhteydessä (vaihe 3:100%). Kaikissa tapauksissa kaikki vesi poistetaan Luossajärvestä purkukanavaan (virtaama 4, Figur 9-4). Taulukossa Tabell 9-5 vertaillaan kertynyttä virtaamaa eri tyyppivuosina vaiheessa 1 (nykytila) ja vaiheessa 3:100%. Figur 9-9 esittää virtaamia AVA02:ssa (Pahtajokea

ylävirtaan kohdassa, johon Tvillingjärnin virtaama yhdistyy) ja KVA179:ssä (ennen ulosvirtausta Rautasjokeen).

Virtaamat Luossajärven luusuassa ja tulokohdassa sekä Tvillingjärn-järjestelmässä vähenevät täysin louhitun kaivoksen skenaariossa kaikkina tyyppivuosina, kun taas virtaamat nousevat Pahtajoessa (Tabell 9-5). Kaikkina tyyppivuosina lisäys on yli 10 %. Virtaaman erot johtuvat osaksi pinta- ja pohjaveden ohjauksesta muualle ja osaksi vedenpoistosta. Koska kaikki vesi poistetaan kanavaan, virtaama suurentuu kanavasta alavirtaan ja pienentyy Tvillingjärn-järjestelmässä ennen veden kulkeutumista Pahtajokeen.

Figur 9-9 näyttää, että kertynyt virtaama on suurimmillaan märkinä vuosina sekä AVA02:ssa että KVA179:ssä ja pienimmillään kuivina vuosina. Märkinä vuosina molemmilla asemilla saavutetaan virtaamahuippu loppusyksystä, mitä ei tapahdu kuivina ja normaalivuosina. Normaalivuosien ja kuivien vuosien välinen ero on suhteellisen pieni hydrologisen vuoden alkuosan aikana, kun taas ero kahden tyyppivuoden välillä kasvaa lumen sulamisesta eteenpäin. Sama koskee normaalivuoden ja märän vuoden välistä eroa, joskin märkinä vuosina valumäärä on yleisesti suurempi koko vuoden ajan.



Kuva 9-9. Lasketut virtaamat nykytilassa (oranssi viiva) täysin louhitun kaivoksen tapauksessa (vaihe 3:100%) normaalivuonna. Kuvassa vasemmalla olevat kaaviot esittävät virtaamaa (m^3/s) hydrologisen vuoden aikana, kun taas oikealla olevat kaaviot kertynyttä virtaamaa hydrologisen vuoden aikana.

Taulukko 9-5 Kertynyt virtaama lasketuissa mittauspisteissä, vaiheet 1 ja 3: 100%. Taulukko sisältää myös prosenttimääräisen muutoksen normaalivuoteen ja vaiheeseen 1 verrattuna (positiiviset luvut tarkoittavat lisäystä ja negatiiviset luvut vähennystä).

	Kertynyt virtaama ($\times 10^6$ m ³)						Prosenttimääräinen muutos (%)		
	Vaihe 1			Vaihe 3: 100 %			Vaihe 3: 100 % vaiheeseen 1 verrattuna		
	Normaali	Kuiva	Märkä	Normaali	Kuiva	Märkä	Normaali	Kuiva	Märkä
Luossajärven tulokohta									
VVA17	5,49	5,42	6,79	3,46	3,34	4,13	-37	-38	-39
Luossajärven luusua									
KVA145	6,10	5,96	7,8	4,08	3,90	5,18	-33	-35	-34
Tvillingtjärn-järvijärjestelmä									
AVA01	2,69	2,37	3,36	1,64	1,42	2,03	-39	-40	-39
Stora Abbottjärn									
AVA19	6,42	5,00	8,37	5,60	4,37	7,25	-13	-12	-13
AVA14	7,95	6,23	10,3	6,74	5,30	8,74	-15	-15	-15
Pahtajoki									
AVA02	15,0	13	19,3	17,7	15,5	21,7	18	20	12
AVA29	18,2	15,7	23,4	19,9	17,4	24,4	8,9	10	4,5
AVA18	21,1	18,0	27,1	22,8	19,7	28,2	7,8	9,3	3,9
KVA179	22,0	18,7	28,2	23,6	20,4	29,3	7,5	9,0	3,7

9.3.3 Tyypivuosisien vaikutus vedenlaatuun täysin louhitussa kaivoksessa

Luvussa 9.2.3 on kuvattu vaikutusta vesistön pitoisuuksiin kaivoksen eri kehitysvaiheissa. Seuraavassa osassa kuvataan mallinnettuja tuloksia siitä, kuinka valittujen havaintopisteiden pitoisuudet täysin louhitun kaivoksen yhteydessä (vaihe 3:100%) vaihtelevat eri tyypivuosina, ja tulokset on kuvattu kohdissa Figur 9-10 ja Tabell 9-6. Kaikissa tapauksissa kaikki vesi poistetaan Luossajärvestä purkukanavaan (virtaama 4, Figur 9-4). Vaiheen 1 ja vaiheen 3:100% välisiä eroja käsitellään alla kaikkien aineiden osalta.

Kalsium (Ca): Figur 9-10a ja Tabell 9-6

Vuosikeskipitoisuuden lasketaan nousevan vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1). Nykytilassa (vaihe 1) Luossajärvi ja Tvillingtjärn-järjestelmä (joihin tällä hetkellä veden täyttämän kaivoksen poistovesi ohjataan) ovat suurimmat lähteet. Vaiheessa 3:100% suurin osa (jopa 600 m³/h) kaivoksen poistovedestä ja ulkoisen järjestelmän vedestä kulkee vedenpuhdistusprosessin läpi. Suuri Ca-pitoisuuksien lähde on tällöin Luossajärven vesi yhdistettynä kaivoksen vedenkäsittelyjärjestelmästä tulevaan puhdistettuun veteen. Pitoisuus kuitenkin nousee, koska kaivostoiminnasta tulee lisäystä, jota ei pystytä täysin käsittelemään vedenpuhdistuksessa. Tällöin Rautasjokeen kulkeutuvan kalsiumin määrä kasvaa noin 770 tonnista vuodessa noin 2 050 tonniin vuodessa (laskettuna KVA179:ssä). Pitoisuus on suurimmillaan lähellä kaivosta ja pienentyy asteittain Pahtajoen luusua kohti (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää). Vuosivaihtelut johtuvat suurimmaksi osaksi laimentumisen vaihtelusta ympäröivien alueiden kautta niin, että kuivina vuosina ilmenee vähiten laimentumista. Koska märkinä vuosina on suurempi virtaama kuin kuivina vuosina, kokonaisuudessa on märkinä vuosina suurempi kuin kuivina vuosina alemmasta pitoisuudesta huolimatta. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 1 890 tonnia vuodessa kuivina vuosina ja noin 2 060 tonnia vuodessa märkinä vuosina.

Kloridi (Cl): Figur 9-10b ja Tabell 9-6

Vuosikeskipitoisuuden lasketaan laskevan jonkin verran vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1). Nykytilassa (vaihe 1) Luossajärvi ja Tvillingtjärn-järjestelmä (joihin tällä hetkellä veden täyttämän kaivoksen poistovesi ohjataan) ovat suurimmat lähteet. Vaiheessa

3:100% suurin osa (jopa 600 m³/h) kaivoksen poistovedestä ja ulkoisen järjestelmän vedestä kulkee vedenpuhdistusprosessin läpi. Suuri pitoisuuksien lähde on tällöin Luossajärvi yhdistettynä vedenkäsittelyjärjestelmästä tulevaan puhdistettuun veteen. Tällöin Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä vähenee noin 410 tonnista vuodessa noin 380 tonniin vuodessa (laskettuna KVA179:ssä). Pitoisuus on melko samanlainen Pahtajoen varrella (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää). Vuosivaihtelut johtuvat suurimmaksi osaksi laimentumisen vaihtelusta ympäröivien alueiden kautta niin, että kuivina vuosina ilmenee vähiten laimentumista. Koska märkinä vuosina on suurempi virtaama kuin kuivina vuosina, kokonaisuudessa on märkinä vuosina suurempi kuin kuivina vuosina alemmasta pitoisuudesta huolimatta. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 390 tonnia vuodessa kuivina vuosina ja noin 480 tonnia vuodessa märkinä vuosina.

Koboltti (Co): Figur 9-10c ja Tabell 9-6

Vuosikeskipitoisuuden lasketaan nousevan vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1), koska vettä virtaa enemmän tulevasta kaivostoiminnasta. Toiminnan poistovesi vaiheessa 3:100% muodostaa suurimman Co-lähteen. Tällöin Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä nousee 0,9 kilogrammasta vuodessa noin 5,8 kilogrammaan vuodessa (laskettu KVA179:ssä). Pitoisuus on suurimmillaan lähellä purkupistettä ja pienentyy asteittain Pahtajoen luusuaa kohti (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää). Pitoisuus on suurimmillaan normaaleina ja märkinä vuosina. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuvan koboltin määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 4,5 kg vuodessa kuivina vuosina ja noin 6,9 kg vuodessa märkinä vuosina.

Kupari (Cu): Figur 9-10d ja Tabell 9-6

Vuosikeskipitoisuuden lasketaan nousevan vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1). Nykytilassa (vaihe 1) Luossajärvi on suurin vesistöön kulkeutuvan kuparin lähde, kun taas vaiheessa 3:100% suurin kuparin lähde on tulevasta toiminnasta tuleva poistovesi. Tällöin Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä nousee noin 21 kilogrammasta vuodessa noin 28 kilogrammaan vuodessa (laskettu KVA179:ssä). Pitoisuudet lähellä poistoveden purkupistettä ja Pahtajoen luusuassa ovat samaa kokoluokkaa (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää). Märkinä vuosina pitoisuus ja kaivoksesta tuleva virtaama kasvavat, minkä seurauksena pitoisuus on vesistöissä suurimmillaan märkinä vuosina. Tämän tuloksena kulkeutuvan massan määrä on suurimmillaan märkinä vuosina. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 23 kg vuodessa kuivina vuosina ja noin 35 kg vuodessa märkinä vuosina.

Liennut orgaaninen hiili (DOC): Figur 9-10e ja Tabell 9-6

Vuosikeskipitoisuuden lasketaan laskevan jonkin verran vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1). Tällöin Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä vähenee 100 tonnista vuodessa 90 tonniin vuodessa (laskettuna KVA179:ssä). Pitoisuudet ovat melko samanlaisia Pahtajoen varrella (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää), ja tyyppivuosien väliset erot ovat pieniä. Kaivoksen ei oleteta muodostavan suurta DOC-lähdettä, vaan pitoisuuden vaihtelut liittyvät enemmänkin virtaaman vaihteluihin. Pitoisuus on suurimmillaan märkinä vuosina suurempien virtaamien vuoksi, joten kulkeutuvien massojen määrä on suurimmillaan märkinä vuosina. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 80 tonnia vuodessa kuivina vuosina ja noin 120 tonnia vuodessa märkinä vuosina.

Nitraatti (NO₃): Figur 9-10f ja Tabell 9-6

Vuosikeskipitoisuuden lasketaan nousevan vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1), koska kaivostoiminnasta tulee enemmän puhdistamatonta vettä. NO₃ on yksi aineista, joiden pitoisuus nousee eniten nykytilan (vaihe 1) ja vaiheen 3:100% välillä. Suurentunut pitoisuus tarkoittaa sitä, että Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä nousee noin 40 tonnista vuodessa noin 140 tonniin vuodessa (laskettu KVA179:ssä). Pitoisuus on suurimmillaan lähellä kaivosta ja pienentyy asteittain Pahtajoen luusuaa kohti (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää). Vuosivaihtelut johtuvat suurimmaksi osaksi laimentumisen vaihtelusta ympäröivien alueiden kautta niin, että kuivina vuosina ilmenee vähiten laimentumista. Virtaaman vuoksi kokonaisuudessa on kuitenkin suurempi märkinä kuin kuivina vuosina alemmasta pitoisuudesta huolimatta. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva

määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 140 tonnia vuodessa kuivina vuosina ja noin 150 tonnia vuodessa märkinä vuosina.

Sulfaatti (SO₄): Figur 9-10g ja Tabell 9-6

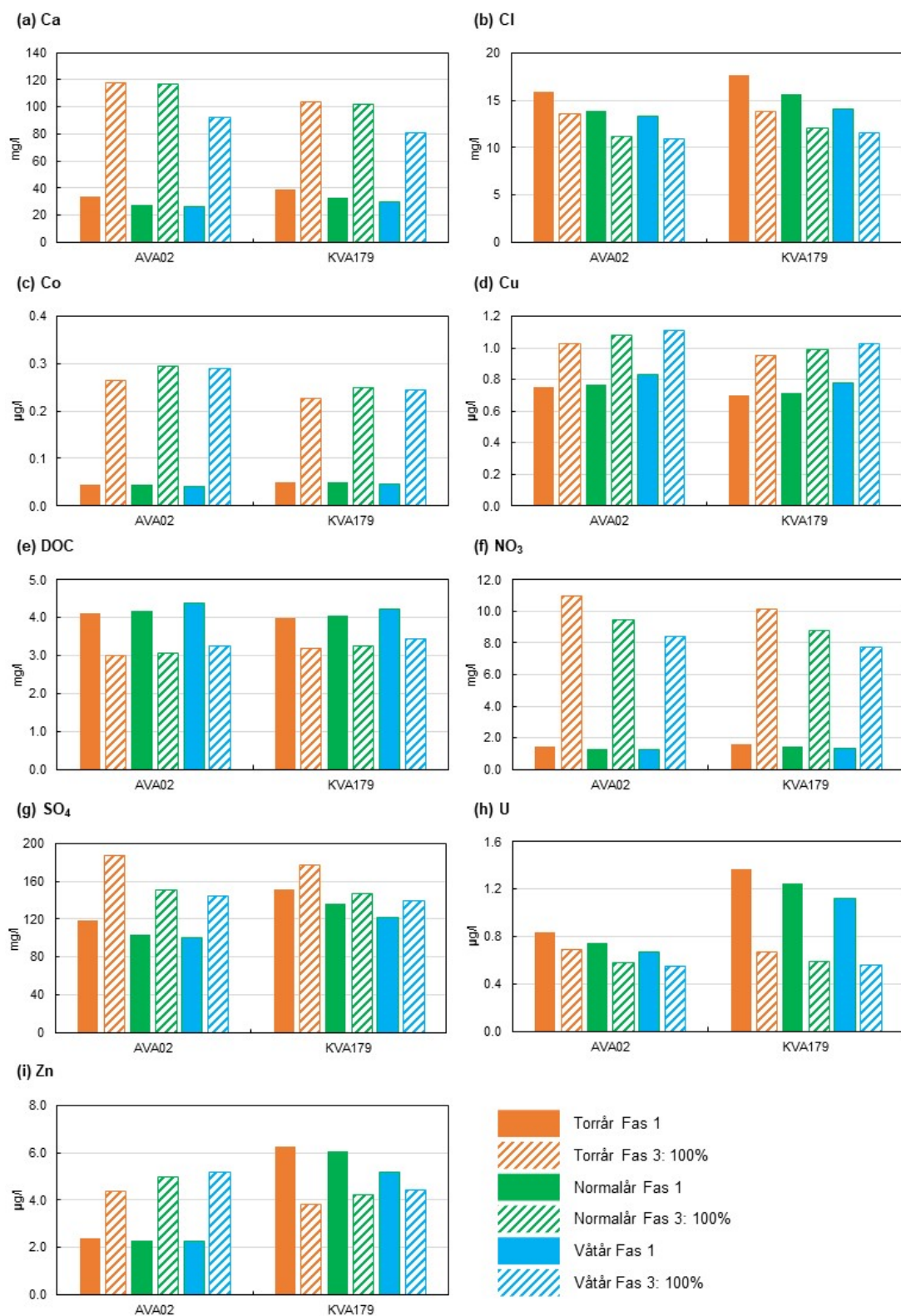
Vuosikeskipitoisuuden lasketaan nousevan vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1), koska kaivostoiminnasta tulee enemmän puhdistamatonta vettä. Tällöin Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä nousee noin 3 400 tonnista vuodessa noin 3 700 tonniin vuodessa (laskettuna KVA179:ssä). Vaiheessa 3:100% pitoisuus on suurimmillaan lähellä kaivosta ja pienentyy asteittain Pahtajoen luusuaa kohti (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää). Vuosivaihtelut johtuvat suurimmaksi osaksi laimentumisen vaihtelusta ympäröivien alueiden kautta niin, että kuivina vuosina ilmenee vähiten laimentumista. Virtaaman vuoksi kokonaisuudessa on kuitenkin suurempi märkinä kuin kuivina vuosina alemmasta pitoisuudesta huolimatta. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 3860 tonnia vuodessa kuivina vuosina ja noin 4480 tonnia vuodessa märkinä vuosina.

Uraani (U): Figur 9-10h ja Tabell 9-6

Vuosikeskipitoisuuden lasketaan laskevan vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1). Vaiheessa 1 Luossajärvi ja Tvillingtjärn-järjestelmä (joihin tällä hetkellä veden täyttämän kaivoksen poistovesi ohjataan) ovat suurimmat uraanin lähteet. Vaiheessa 3:100% suurin osa toiminnan poistovedestä johdetaan kaivoksen vedenpuhdistusprosessin läpi. Suuri pitoisuuksien lähde on tällöin Luossajärvi yhdistettynä vedenkäsittelyjärjestelmästä tulevaan puhdistettuun veteen. Tällöin Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä laskee noin 25 kilogrammasta vuodessa noin 17 kilogrammaan vuodessa (laskettu KVA179:ssä). Vaiheessa 3:100% pitoisuus on samankaltainen Pahtajoen varrella (verrattaessa AVA02:ta ja AVA179:ää). Vuosivaihtelut johtuvat suurimmaksi osaksi laimentumisen vaihtelusta ympäröivien alueiden kautta niin, että kuivina vuosina ilmenee vähiten laimentumista. Virtaaman vuoksi kokonaisuudessa on kuitenkin suurempi märkinä kuin kuivina vuosina alemmasta pitoisuudesta huolimatta. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 20 kg vuodessa kuivina vuosina ja noin 21 kg vuodessa märkinä vuosina.

Sinkki (Zn): Figur 9-10i ja Tabell 9-6

KVA179:n vuosikeskipitoisuuden lasketaan alentuvan vaiheessa 3:100% verrattuna nykytilaan (vaihe 1), kun taas AVA02:n pitoisuuksien lasketaan nousevan vaiheessa 3:100% verrattuina nykytilaan. Nykytilassa (vaihe 1) Luossajärvi ja Tvillingtjärn-järjestelmä (joihin tällä hetkellä veden täyttämän kaivoksen poistovesi ohjataan) ovat suurimmat lähteet. Vaiheessa 3:100% suurin osa toiminnan poistovedestä johdetaan kaivoksen vedenpuhdistusprosessin läpi. Suuri pitoisuuksien lähde on tällöin Luossajärven vesi yhdistettynä vedenkäsittelyjärjestelmästä tulevaan puhdistettuun veteen. Tällöin Tvillingtjärn-järjestelmästä tulevat pitoisuudet (AVA01, Figur 8-1) laskevat huomattavasti vaiheessa 3:100% verrattuina vaiheeseen 1. Tästä huolimatta Rautasjokeen kulkeutuvan massan määrä (laskettuna KVA179:ssä) kasvaa noin 90 kilogrammasta vuodessa noin 130 kilogrammaan vuodessa lisääntyneen virtaaman vuoksi. Kaivoksesta tulevan veden pitoisuus nousee kuivien ja märkien vuosien välillä, jolloin pitoisuus on suurimmillaan märkinä vuosina. Tämän seurauksena kulkeutuvan massan määrä on suurimmillaan märkinä vuosina. Vaiheessa 3:100% Rautasjokeen kulkeutuva määrä (laskettuna KVA179:ssä) on noin 90 kg vuodessa kuivina vuosina ja noin 170 kg vuodessa märkinä vuosina.



Kuva 9-10. Mallinnetut keskipitoisuudet tyyppivuosina: normaalivuosi, märkä vuosi ja kuiva vuosi vaiheissa 1 ja 3: 100%. Kuva sisältää aineet (a) Ca, (b) Cl, (c) Co, (d) Cu, (e) DOC, (f) NO₃, (g) SO₄ (h) U ja (i) Zn. Kuvat sisältävät kaksi esimerkkiä: AVA02 ja KVA179.

Taulukko 9-6 Kaikkien valittujen aineiden vuosittaiset lasketut keskipitoisuudet kaikilla mittausasemilla. Vuosikeskipitoisuudet kattavat märät vuodet, normaalivuodet ja kuivat vuodet vaiheessa 3: 100%.

Yksikkö	Ca mg/l	Cl mg/l	Co µg/l	Cu µg/l	DOC mg/l	NO ₃ mg/l	SO ₄ mg/l	U µg/l	Zn µg/l
KVA145									
kuiva	223	91	0,05	2,0	4,4	11	652	19	6,1
normaali	217	86	0,05	1,9	4,6	11	622	18	5,5
kostea	211	82	0,06	2,0	4,9	10	593	17	4,9
AVA01									
kuiva	133	56	0,001	0,55	4,2	6,8	399	7,9	0,94
normaali	123	50	0,001	0,50	4,4	6,2	359	7,0	0,79
kostea	119	47	0,001	0,51	4,5	6,0	341	6,6	0,69
AVA19									
kuiva	5,5	0,54	0,05	0,67	4,0	0,06	2,4	0,07	1,9
normaali	5,1	0,52	0,05	0,70	4,1	0,06	2,3	0,07	1,9
kostea	4,4	0,48	0,04	0,78	4,2	0,06	2,2	0,06	2,0
AVA14									
kuiva	5,7	0,55	0,05	0,70	4,0	0,06	2,4	0,08	1,9
normaali	5,3	0,53	0,05	0,73	4,0	0,06	2,3	0,07	1,9
kostea	4,6	0,49	0,04	0,81	4,2	0,06	2,2	0,06	2,0
AVA02									
kuiva	118	13	0,27	1,0	3,0	11	187	0,69	4,4
normaali	116	11	0,29	1,1	3,1	9,5	151	0,58	5,0
kostea	92	11	0,29	1,1	3,3	8,4	144	0,55	5,2
AVA29									
kuiva	113	16	0,24	1,0	3,1	11	195	0,76	4,0
normaali	111	14	0,27	1,0	3,2	9,2	162	0,66	4,6
kostea	88	13	0,26	1,0	3,4	8,2	155	0,63	4,7
AVA18									
kuiva	105	14	0,23	0,96	3,2	10	181	0,69	3,8
normaali	104	12	0,25	1,0	3,2	8,8	151	0,60	4,3
kostea	82	12	0,25	1,0	3,4	7,8	142	0,57	4,5
KVA179									
kuiva	104	14	0,23	0,95	3,2	10	177	0,67	3,8
normaali	102	12	0,25	0,99	3,2	8,8	147	0,59	4,2
kostea	81	12	0,24	1,0	3,4	7,7	139	0,56	4,4

10 Integroidun pinta- ja pohjavesimallin kalibrointi

Tässä luvussa raportoidaan vaihteittaiset tulokset integroidun pinta- ja pohjavesimallin kalibroinnista, kun taas tämän työn strategia ja metodiikka raportoidaan luvussa 7. Kohdassa 10.1 raportoidaan aluemallin tulokset, joita sitten käytetään reunaehtoina paikalliselle mallille, jonka tulokset raportoidaan kohdassa 10.2.

10.1 Alustavat laskelmat alueellisella mallilla

Tässä kohdassa raportoidaan alueellisella mallilla tehdyn kokonaisherkkyysanalyysin tulokset. Mallia on simuloitu ohimenevästi 20 vuoden ajan säätiedoilla vuosilta 2000-2020. Kiirunavaaran kaivoksen laajentumisen tänä aikana oletetaan kuitenkin mallissa olevan vakio ja malli heijastaa tämän hetken kaivoksen laajentumista tasolle 1365 saakka (ks. Figur 4-7). Aluemallin tarkoituksena on analysoida Kiirunavaaran kaivoksen mahdollisia vaikutuksia Viscarian alueeseen, koska se ei sijaitse paikallisen mallialueen sisällä. Kiirunavaaran kaivoksen ympärillä oleva hydrogeologinen järjestelmä on erittäin monimutkainen ja veden valuminen sisään kaivokseen vaihtelee suuresti vuoden aikana. Aluemallin tavoitteena on siksi päästä kohtuulliseen arvioon kallion pohjaveden pinnan tasosta ja vapaasta pohjaveden pinnasta sekä saada laskettu sisäänvirtaus oikeaan suuruusluokkaan.

Kaikkien aluemallin laskentakerrosten laskettujen pohjaveden tasojen tuloksia käytetään sitten reunaehtoien määrittämiseen paikallisen mallin kaakkoiselle mallirajalle, ks. Figur 6-3. Kiirunavaaran kaivoksen kolme juonnetasoa (775, 1045 ja 1365) on kuvattu mallissa sisäisillä reunaehdoilla, jotka aiheuttavat veden valumisen pois niissä soluissa, jotka vastaavat kaivoksen laajenemista kullakin tasolla.

Herkkyysanalyysissä on keskitytty Kiirunavaaran kaivoksen louhinnan aiheuttaman muodonmuutosvyöhykkeen ominaisuuksiin ja kalibroinnin tavoitteena on i) saavuttaa alueen havaintojen mukainen kokonaisvesitase, ii) laskea kaivoksen virtaama, joka on samaa suuruusluokkaa kuin havaitut arvot, eli 14-17 m³/min (ks. luku 4.1.7.2) ja että iii) lasketun vaikutuksen, joka on arvioitu läheisten kallioreikien perusteella, on oltava yhdenmukainen Kiirunavaaran kaivoksen aiemmin tehtyjen tutkimusten kanssa. On huomattava, että aluemallin vaikutusalueetta ei ole laskettu mallissa kaivoksen kanssa ja ilman sitä simulaatioista laskettujen tasojen erotuksena. Koska Kiirunavaaran kaivoksen toiminta on osa luonnollista järjestelmää, jonka tulee heijastaa tämän päivän tilannetta Viscarian alueella, kaivos on osa mallia, joka kuvaa alueen nykyistä hydrologista ja hydrogeologista järjestelmää. Kiirunavaaran kaivoksen vaikutusalue on työn aikana määritelty aluemallilla arvioimalla laskennallisia pohjaveden tasoja maaperässä ja kalliiossa. Alueilla, joilla pohjaveden pinnan tasot selvästi poikkeavat siitä, mitä voidaan pitää häiriöttömänä tilanteena, eli alueilla, joilla pohjaveden pinta ei seuraa topografiaa tai joissa pohjaveden alenemista ei voida selittää muilla kallion ja maaperän hydrogeologisilla ominaisuuksilla, oletetaan, että Kiirunavaaran kaivoksen toiminnalla on oma vaikutuksensa.

Tabell 10-1 sisältää luettelon tapauksista, jotka ovat sisältyneet herkkyysanalyysiin. Koska kalibrointi on iteratiivinen prosessi, aluemallin herkkyysanalyysi on tehty kahdessa vaiheessa. Vaiheessa 1 käytettiin kohdassa 6.2 raportoitua ominaisuusjoukkoa, ja mallin herkkyyttä muodonmuutosvyöhykkeen erilaisille läpäisevyyksille tutkittiin. Laskentatapaus Steg1_K_original (**Tabell 10-1**) antoi kaivokseen tapahtuvat virtaukset samassa suuruusjärjestyksessä kuin havaitut arvot. Kuitenkin alue, jolla pohjaveden pinnat olivat selvästi alentuneet, tuli vaikutukseltaan yliarvioituksi havaintoihin verrattuna. Sen selvittämiseksi, pieneneekö alue, jossa pohjaveden pinnat ovat selvästi alentuneet, kun mallissa käytetään alempia K-arvoja muodonmuutosvyöhykkeelle, suoritettiin eri laskentatapauksia, jotka on luetteloitu merkinnällä "Steg_1" taulukossa **Tabell 10-1**. Muodonmuutosvyöhykkeen vedenläpäisevyys on ainoastaan pienentynyt eri laskentatapauksissa. Koska sisäänvirtaukset olivat oikeassa suuruusjärjestyksessä, ei testattu tapauksia, joissa muodonmuutosvyöhykkeellä olisi suurempi vedenläpäisevyys.

Tuloksia vaiheesta 1, jotka kuvataan tarkemmin kohdassa 10.1.1, on sitten käytetty luomaan reunaehdot paikallisen mallin alkuperäistä kalibrointia ja herkkyyksianalyysiä varten.

Paikallisen mallin alustavat analyysit osoittivat, että mallin kallion vedenläpäisevyys oli liian korkea, kun mallissa käytettiin alkuperäistä parametrioitua. Kiirunavaaran kaivoksen vaikutus yliarvioitiin Viscarian alueella ja pohjaveden pinnan taso kalliosta, erityisesti korkeilla alueilla, jotka ovat kosketuksissa suurempiin rakoalueisiin, tuli liian matalaksi. Paikallisen mallin tulokset hyötyivät hydraulisen johtavuuden alentamisesta sekä taustakallio-, rako- että malmivyöhykkeillä. Nämä paikallisen mallin tulokset motivoivat aluemallin herkkyyksianalyysin vaihetta 2. Sama tapaus kuin vaiheessa 1 toistettiin uudelleen, mutta kallion ominaisuudet osoittautuivat paikallisessa mallissa suotuisiksi (**Tabell 10-1**).

Taulukko 10-1. Aluemallin herkkyyksianalyysiin sisältyneet laskentatapaukset.

Laskentatapaus	Muutos verrattuna luvussa 6 kuvattuun perustapaukseen
Steg1_K_original	Ei muutosta
Steg1_Kv_div 10	K _v muodonmuutosvyöhykkeellä jaettuna 10:llä, K _v pinnallisesti vaikutuksen alaisessa kalliosta jaettuna 10:llä
Steg1_Kv_div 50	K _v muodonmuutosvyöhykkeellä jaettuna 50:llä, K _v pinnallisesti vaikutuksen alaisessa kalliosta jaettuna 10:llä
Steg1_Kv_div100	K _v muodonmuutosvyöhykkeellä jaettuna 100:llä, K _v pinnallisesti vaikutuksen alaisessa kalliosta jaettuna 10:llä
Steg2_Kv_div 10	K _h ja K _v taustakalliosta 300 m syvyyteen asti = 10 ⁻⁹ m/s K _h ja K _v taustakalliosta 300 m syvyyden alapuolella = 5,2x10 ⁻¹⁰ m/s K _h ja K _v malmivyöhykkeissä ja rakovyöhykkeissä = 1x10 ⁻⁶ m/s K _v muodonmuutosvyöhykkeellä jaettuna 10:llä, K _v pinnallisesti vaikutuksen alaisessa kalliosta jaettuna 10:llä
Steg2_Kv_div 50	K _h ja K _v taustakalliosta 300 m syvyyteen asti = 10 ⁻⁹ m/s K _h ja K _v taustakalliosta 300 m syvyyden alapuolella = 5,2x10 ⁻¹⁰ m/s K _h ja K _v malmivyöhykkeissä ja rakovyöhykkeissä = 1x10 ⁻⁶ m/s K _v muodonmuutosvyöhykkeellä jaettuna 10:llä, K _v pinnallisesti vaikutuksen alaisessa kalliosta jaettuna 10:llä

10.1.1 Alueellisen mallin tulokset

Pohjaveden tunkeutuminen Kiirunavaaran kaivokseen vaihteli vaiheessa 1 välillä 19,2 m³/min – 16,9 m³/min. Laskentatapaukset *Steg1_K_original* ja *Steg1_Kv_div 10* johtivat samaan kokonaismäärään kaivokseen tihkuvaa pohjavettä, 19,2 m³/min, joskin tunkeutuvan pohjaveden jakautuminen syvyyden suhteen vaihteli jonkin verran. Kun K_v muodonmuutosvyöhykkeessä jaettiin 50:llä, laskettu sisäänvirtaus kohosi arvoon 18 m³/min, kun taas alhaisin sisäänvirtaus, 16,9 m³/min, laskettiin tapaukselle *Steg1_Kv_div100*. Kaikissa laskentatapauksissa esiintyi laskennallinen pohjaveden virtaama sisään kaivokseen, joka oli hieman havaittujen arvojen yläpuolella mutta samassa suuruusjärjestyksessä.

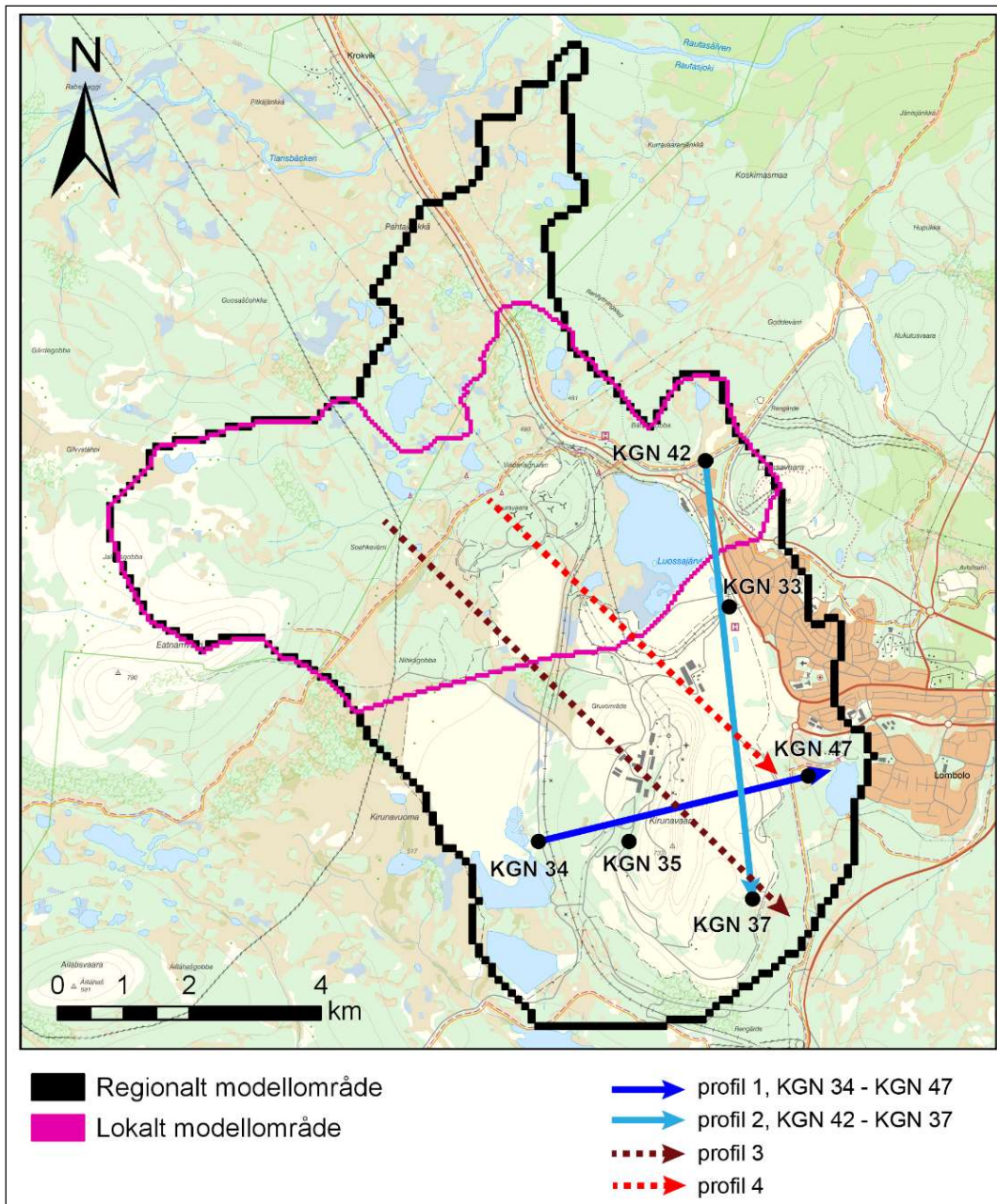
Kaivoksen yläpuolella olevan kallion pohjaveden pinnan tasosta on saatavana rajoitetusti tietoa. Mittaukset tehdään kaivoksen ympärillä olevissa avoimissa porausrei'issä, ja näistä saatua tietoa on käytetty kaivoksen ympäristön vaikutusalueen arvioimiseen (Geosigma 2018). Ei ole epätodennäköistä, että kalliosta on kyllästyneitä olosuhteita eri juonnetasojen yläpuolella, kun taas kaivoskäytävissä ja kuiluissa tai niiden lähellä ovat alueet ovat kyllästymättömiä, ja tämä oletus on otettu huomioon vapaan pohjaveden sijainnin ja pinnan tason tuloksissa. Pohjaveden pintaa eri syvyyksissä kalliosta on arvioitu. Kun K_v alennetaan kertoimella 50 tai 100, vaikutus vapaaseen pohjaveden pintaan muuttuu olemattomaksi: pohjaveden pinta seuraa koko kaivosalueen topografiaa ja päättyy vain muutaman metrin verran maanpinnan alapuolelle, mikä ei ole kohtuullista. Lisäanalyysi

pohjaveden pinnan sijainnista suhteessa pohjaveden tasoon eri syvyyksissä kalliossa tehtiin siksi tapaukselle, jossa K_v pienennettiin kertoimella 10. Kuvissa

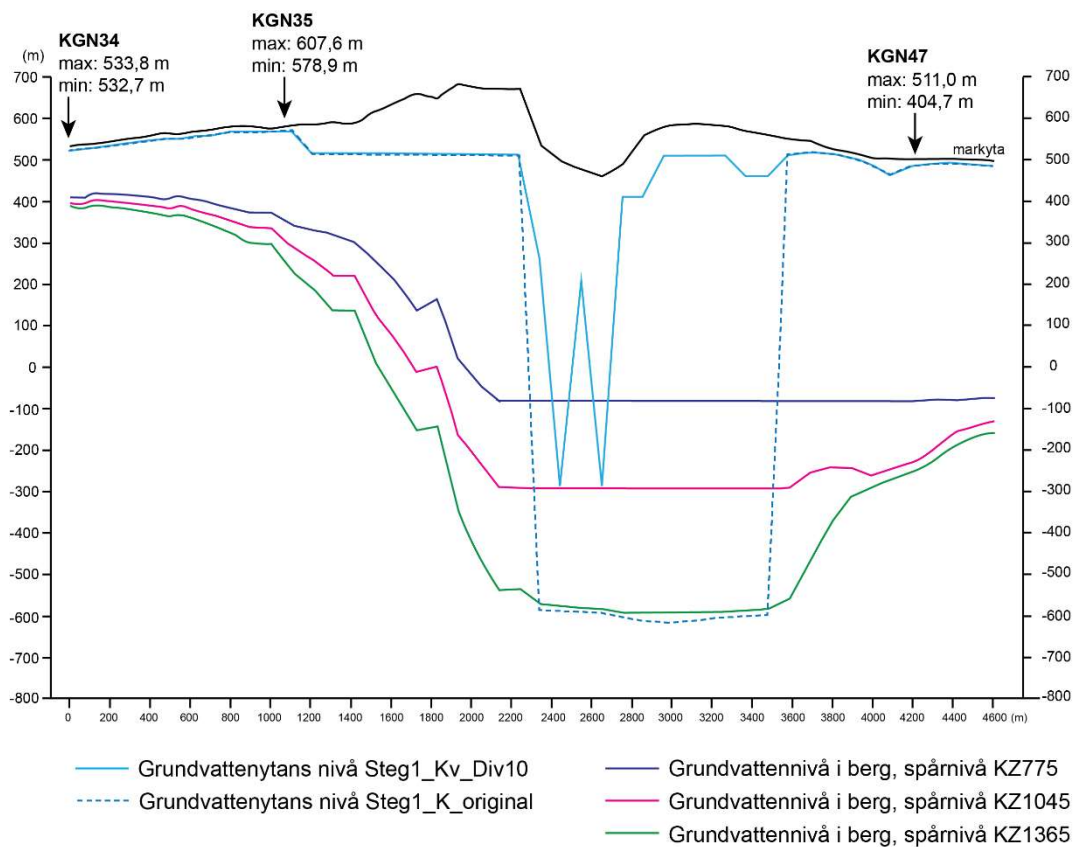
Figur 10-2 ja Figur 10-3 näkyy laskettu pohjaveden taso tapauksille *Steg1_K_original* ja *Steg1_Kv_div 10* kahdella eri profiililla, joiden sijainnit esitetään kuvassa Figur 10-1. Pohjaveden minimi- ja maksimitasot profiilien varrella olevissa avoimissa porausrei'issä esitetään antamaan käsityksen mallin yhteensopivuudesta havaittujen tietojen kanssa. Näissä kahdessa kuvassa näkyvät myös laskennalliset pohjaveden tasot laskentakerroksissa, jotka ovat yhtäpitävät tapauksen *Steg1_Kv_div 10* kolmen juonnetason kanssa, ts. toisin sanoen tapauksen, jossa muodonmuutosvyöhykkeellä on pienempi vedenläpäisevyys.

Alkuperäisten K -arvojen tapauksessa vapaan veden pinta putoaa alemmalle tasolle (sininen katkoviiva, Figur 10-2 ja Figur 10-3) kun taas alhaisemman K_v :n tapauksessa kyllästyneitä olosuhteita esiintyy eri juonnetasojen yläpuolella (yhtenäinen sininen viiva, Figur 10-2 ja Figur 10-3) ja paikallisella kyllästymättömällä vyöhykkeellä kaivoksen ympärillä suuremmassa syvyydessä. Kalliossa eri syvyyksillä olevan pohjaveden pinnan korkeus on voimakkaasti alentunut ja heijastaa eri juonnetasojen tyhjennystasoa, kun taas vapaan pohjaveden pinta säilyy ylhäällä alemman K_v :n tapauksessa. Jos laskentakerros kuivuu, laskettu pohjaveden pinnan taso päätty laskentakerroksen pohjalle, jolloin kuivat alueet heijastuvat suorina viivoina profiilikuvissa. Kaikki laskennalliset pohjaveden pinnan korkeudet kolmessa jälkeä sisältävässä kerroksessa ovat täysin tai osittain kuivia profiilissa 1 pitkin KGN34-KGN47:ää. Ylempi juonnetaso on kuiva noin 2100 metristä profiilin loppuun saakka. Keskimmäinen juonnetaso on kuivaa noin 2100 metristä 3600 metriin ja alimmainen juonnetaso noin 2800 m - 3500 metriin. Profiilissa 2 pitkin KGN42-KGN37:ää kaksi ylempää juonnetasoa ovat kuivia noin 2500 m:stä - 7000 m:iin ja alempi juonnetaso on kuivaa noin 3500 m:stä 4500 m:iin. Ylempi juonnetaso on sitten kuiva profiilin loppuun saakka , kun taas kaksi alempaa tasoa kyllästyvät noin 3500 m profiiliin sisällä.

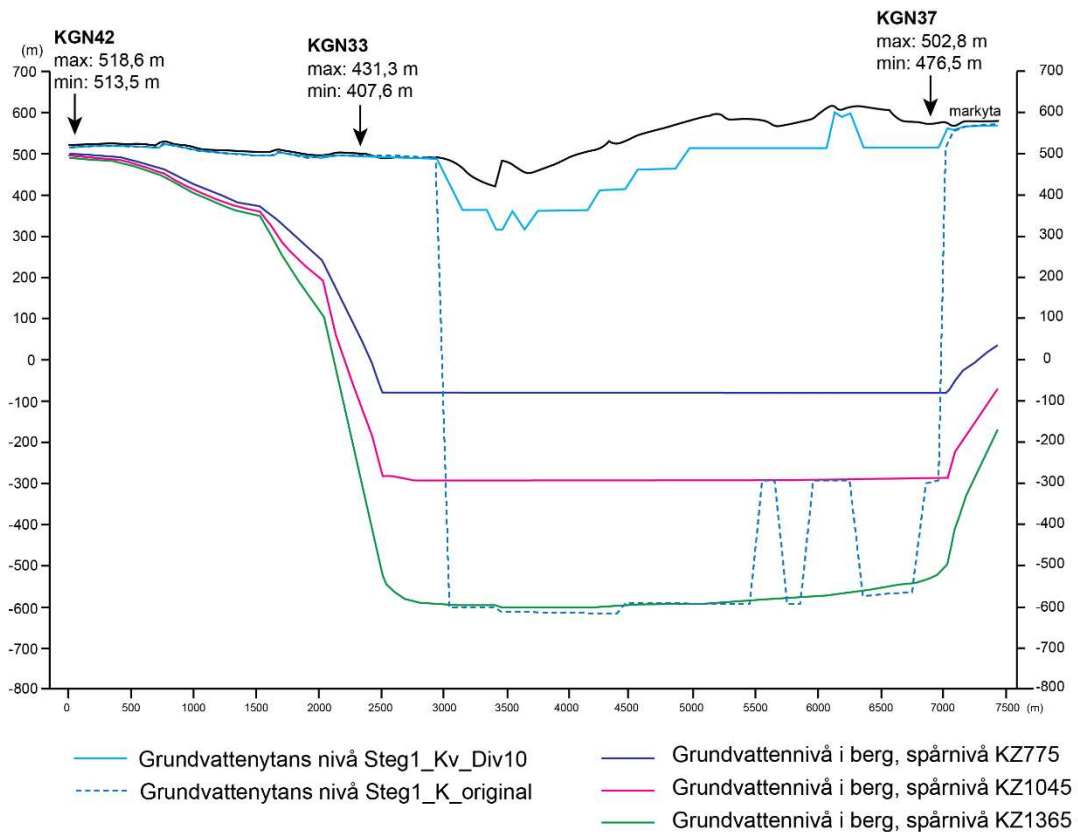
Alemman K_v :n tapauksen muodonmuutosvyöhykkeellä on arvioitu antavan järkevämmän pohjaveden pinnan tason kuin alkuperäinen K_v -arvo muodonmuutosvyöhykkeellä, joten tapaus *Steg1_Kv_div 10* sai muodostaa perustan reunaehdoille paikallisen mallin ensimmäisellä kalibrointikierröksellä. Tämä päätös perustui pääasiassa vapaan pohjaveden pinnan sijainnin arviointiin. Tietojen puutteesta huolimatta on todennäköistä, että kaivoksen yläpuolella on kyllästynyt vyöhyke ja että täysin kyllästymättömiä olosuhteita ei vallitse koko kaivoksen yläpuolella, mikä muodostuu tilanteeksi, jos muodonmuutosvyöhykkeellä käytetään korkeampaa K_v -arvoa. Vaikka laskennalliset virtaukset tapauksessa, jossa oli vielä pienempi K_v , sopisivat hieman paremmin yhteen havaittujen sisäänvirtausten kanssa, nämä tapaukset valittiin, koska ne eivät vaikuttaneet vapaaseen pohjaveden pintaan.



Kuva 10-1. Profiilit, joista raportoidaan laskennalliset tulokset pohjaveden pinnan korkeudesta eri syvyyksissä kalliolla ja vapaan pohjaveden pinnan sijainnista kuvasta Figur 10-2 kuvaan Figur 10-7.

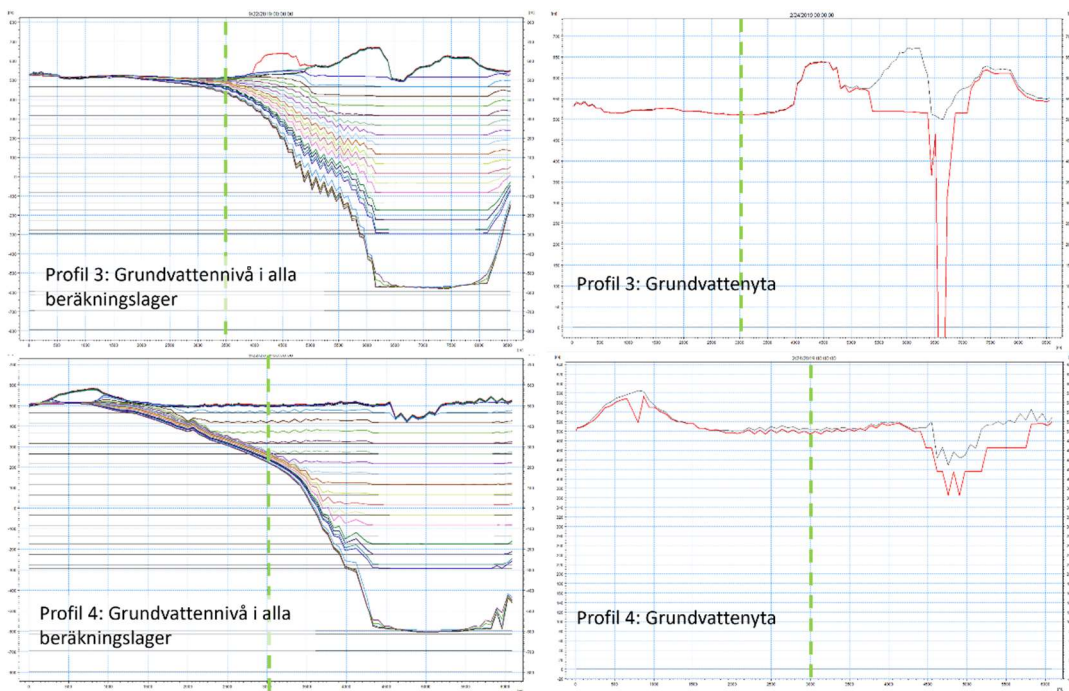


Kuva 10-2. Laskettu taso pohjaveden pinnalle ja pohjaveden tasoille eri syvyyksissä kalliosta profiiliin 1 varrella KGN34-KGN47:stä vaiheen 1 laskelmista. Jos laskentakerroksen pohjaveden taso päättyy laskentakerroksen alemman tason alapuolelle, taso esitetään suorana viivana ja tämä tapahtuu n. 2000 m profiiliin kolmelle jälkitasoa sisältävälle kerrokselle.



Kuva 10-3. Laskettu taso pohjaveden pinnalle ja pohjaveden tasoille eri syvyyksissä profiiliin 2 varrella KGN42-KGN37:stä vaiheen 1 laskelmista. Jos laskettu pohjaveden pinnan taso päätyy laskentakerroksen alemman tason alapuolelle, taso esitetään suorana viivana ja tämä tapahtuu n. 2500 m profiiliin kolmelle jälkitasoa sisältävälle kerrokselle.

Figur 10-4 esittää lasketut pohjaveden pinnat kaikissa laskentakerroksissa profiilien 3 ja 4 varrella (Figur 10-1) siihen laskennalliseen tapaukseen, joka eteni paikallisen mallin ensimmäiselle kalibrointikerrokselle, *Steg1_Kv_div 10*. Vapaaseen pohjaveden pintaan ei mallin reunan paikallisella mallilla ole vaikutusta, mutta Kiirunavaaran kaivoksen vaikutus näkyy useimmissa kallion laskentakerroksissa molempia profiileja pitkin paikalliseen kallioon ulottuvan pohjaveden tason laskusuppilon kautta. Kuvassa näkyy esimerkkutilanne aikana, jolloin pohjaveden pinnat ovat alhaalla. Paikallisen mallin reunalla käytettäviä laskettuja tasoja käytetään ajallisesti vaihtelevina pohjaveden tasoina kussakin laskentakerroksessa, jotta voitaisiin ottaa huomioon vuotuisten vaihteluiden mahdollinen vaikutus.



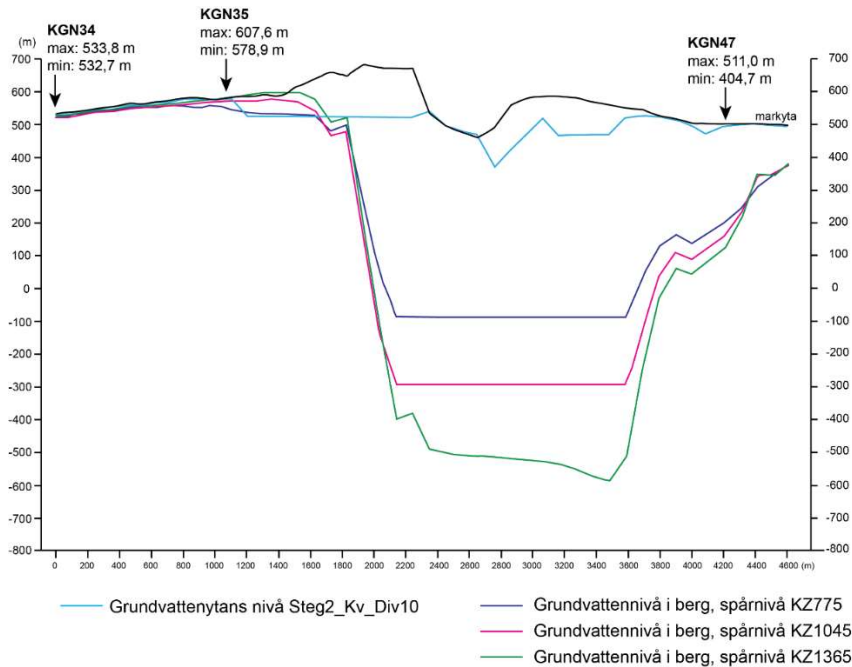
Kuva 10-4. Lasketut pohjaveden pinnat kussakin laskentakerroksessa sekä laskettu vapaa pohjaveden pinta tapauksesta *Steg1_Kv_div 10* profiileja 3 ja 4 pitkin (profiilien sijainnit näkyvät kuvassa Figur 10-1). Paikallisen mallin raja on merkitty vihreällä katkoviivalla jokaisessa kuvassa.

Kuten edellä mainittiin, alustavat laskelmat paikallisella mallilla osoittivat kallioperän olevan liian läpäisevä. Kiirunavaaran kaivoksen vaikutus Viscarian alueelle yliarvioitiin alkuperäisellä parametroidilla ja Viscarian kaivoksen ympäristön kallion pohjaveden pinnan taso osoittautui liian alhaiseksi, katso tarkempi kuvaus kohdassa 10.2. Huolimatta laajoista herkkyyksianalyseistä, joissa kallion ja maaperän ominaisuuksia vaihdeltiin kohtuullisissa fysikaalisissa rajoissa, Viscarian alueen AB-vyöhykkeen vedellä täytetyssä kaivoksessa vedenpoiston taso oli useita metrejä havaittuja arvoja alhaisempi. Tämä motivoi tarkistamaan aluemallia. Uudelleen tarkistuksessa analysoitiin, miten tiheämpi taustakallio vaikutti pohjaveden tasoon mallin reunalla. Paikallismallissa hyödyllisiksi osoittautuneita kalliossa tapahtuneita muutoksia sovellettiin aluemallissa. Toteutetut muutokset olivat osittain taustakallion vedenjohtavuuden yleinen alentaminen, osittain syvyyden alentaminen sekä rako- ja malmivyöhykkeiden vedenjohtavuuden alentaminen kertoimella 10. Kun tämä ominaisuus oli asetettu kalliolle, kaksi tapausta ajettiin aluemallin herkkyyksianalyysin vaiheessa, *Steg2_Kv_div 10* ja *Steg2_Kv_div 50*, jotka kuvataan taulukossa **Tabell 10-1**.

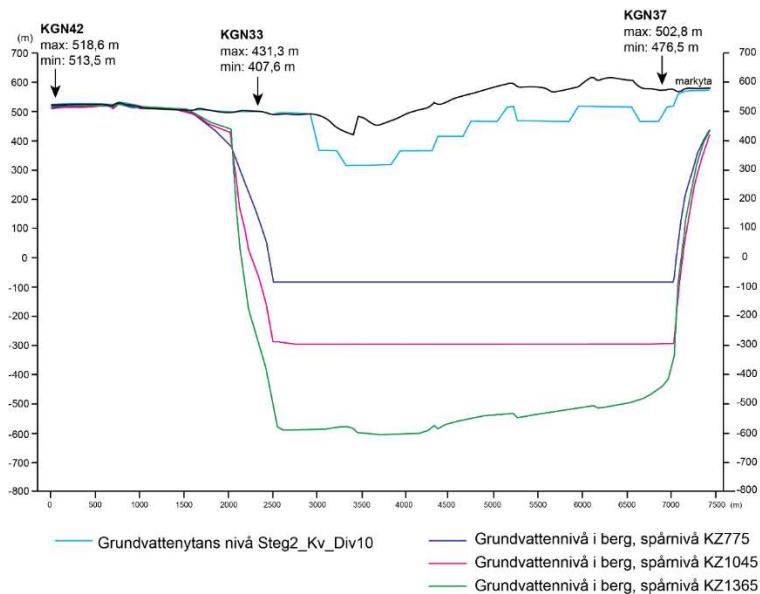
Pohjaveden tunkeutuminen Kiirunavaaran kaivokseen tapahtui vaiheessa 2 välillä 18,7 m³/min – 16,3 m³/min. Pohjaveden pinnan sijainnista ja pohjaveden korkeudesta eri syvyyksissä kalliossa tehtiin analyyseja samoille profiileille kuin vaiheessa 1. Kun K_v muodonmuutosvyöhykkeellä pienenee kertoimella 50, vapaa pohjaveden pinta seuraa koko kaivosalueen topografiaa, mikä todettiin jo vaiheessa 1 kohtuuttomaksi. Vaikka tämä tapaus antoi hieman paremman arvon sisään vuotavalle pohjavedelle verrattuna havaintoihin, valittiin tapaus K_v, jossa muodonmuutosvyöhykettä pienennettiin kertoimella 10, tapauksena, joka sai muodostaa reunaehdot paikallisen mallin jatkos kalibroinnille. Kuvasta Figur 10-5 kuvaan Figur 10-7 esitetään pohjaveden pinnan sijainti sekä pohjaveden pinnat kaikissa laskentakerroksissa kuvassa Figur 10-1 esitettyjen profiilien mukaan. Figur 10-7 näyttää selkeästi, miten vaikutus paikallisen mallin reunaan on huomattavasti pienempi verrattuna vaiheen 1 tuloksiin. Profiilissa 3 kalliossa oleva laskusuppilo ei ulotu paikallismalliin, kun taas profiilissa 4 se ulottuu hiukkasen paikallismalliin, mutta huomattavasti pienemmällä vaikutuksella kuin vaiheessa 1 (Figur 10-4).

Laskettu vesitase lopulliselle tapaukselle, *Steg2_Kv_div 10*, on yhdenmukainen alueen vesitaseesta tehtyjen aikaisempien arvioiden kanssa. Aikaisemmassa alueen

kokonaisvesitasetta koskevassa arvioissa (Mark & Miljö Hydrosense 2011a) ilmoitetaan R/P-suhde 0,64. Vastaava aluemallin luku on 0,63 Paikallisessa mallissa on tehty yksityiskohtaiset analyysit vesitasen eri komponenteista, katso kohta 11.1.1.

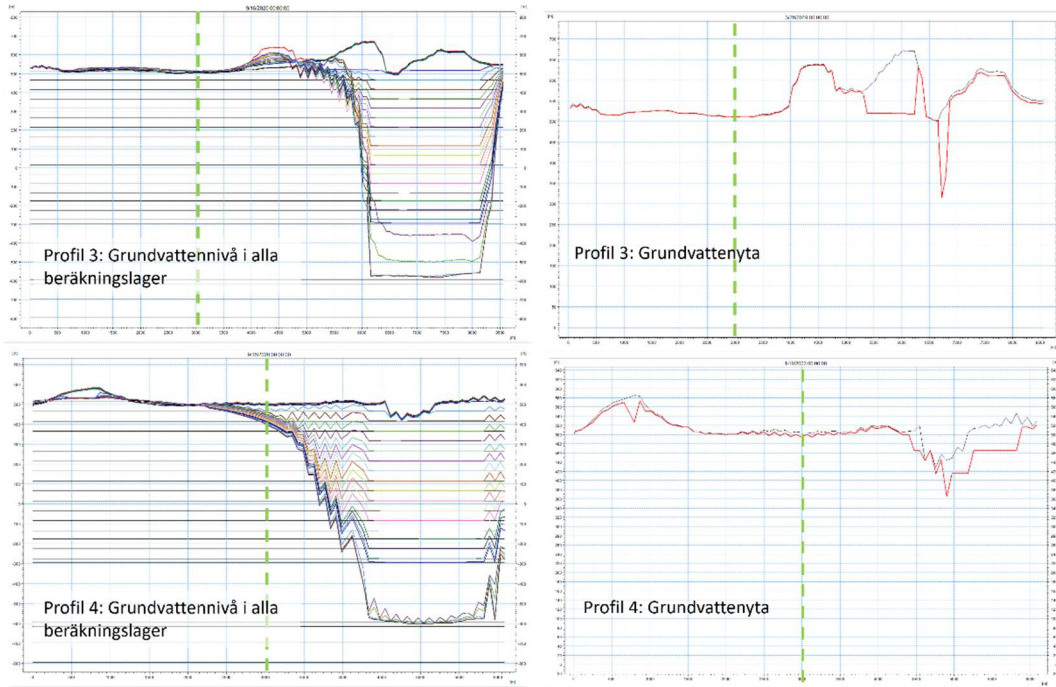


Kuva 10-5. Laskettu pohjaveden pinta ja pohjaveden pinnan taso eri syvyyksillä kalliolla profiilille 1, KGN34-KGN47, vaiheen 2 laskelmista, tapauksessa Steg2_Kv_Div10. Jos laskentakerroksen pohjaveden taso päätty laskentakerroksen alemman tason alapuolelle, pohjaveden pinnan taso esitetään suorana viivana ja tämä tapahtuu n. 2000 m profiiliin kolme ylintä juonnetasoa sisältävälle kahdelle kerrokselle.



Kuva 10-6. Laskettu pohjaveden pinta ja pohjaveden tasot eri syvyyksissä kalliolla profiilille 2, KGN42-KGN37, vaiheen 2 laskelmista, tapaus Steg2_Kv_Div10. Jos laskentakerroksen pohjaveden taso päätty laskentakerroksen alemman tason alapuolelle, pohjaveden

pinnan taso esitetään suorana viivana ja tämä tapahtuu n. 2500 m profiiliin kolme ylintä juonetasoa sisältävälle kahdelle kerrokselle.



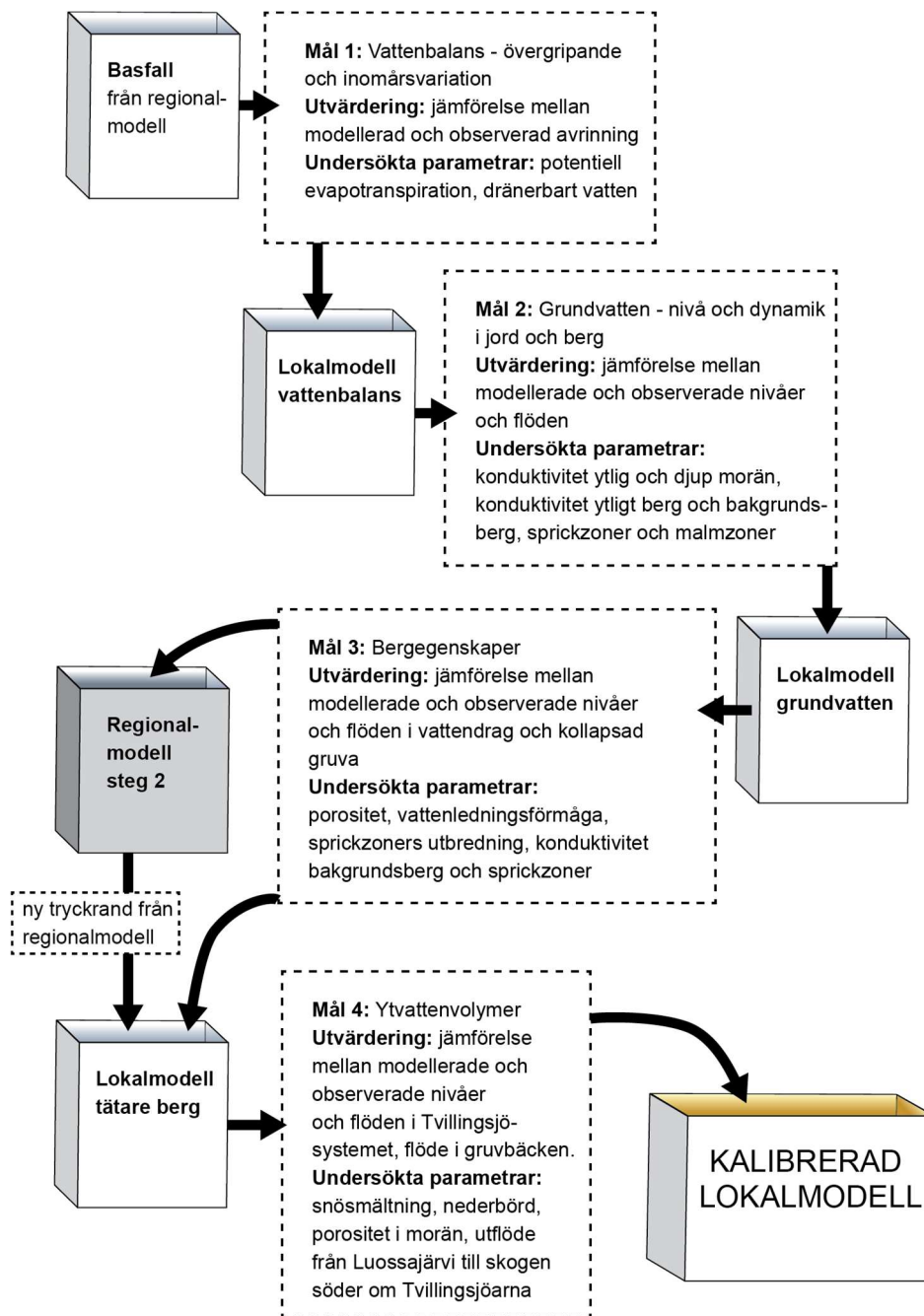
Kuva 10-7. Pohjaveden pinnankorkeudet kussakin laskentakerroksessa sekä laskettu pohjaveden pinta tapauksesta *Steg2_Kv_div 10* profiileja 3 ja 4 pitkin (profiilien sijainnit näkyvät kuvassa Figur 10-1). Paikallisen mallin raja on merkitty vihreällä katkoviivalla jokaisessa kuvassa.

10.2 Alueellisen mallin kalibrointi ja herkkyysanalyysi

Seuraavassa osiossa 10.2.1 raportoidaan tehdyt herkkyysanalyysit sekä mallin ominaisuuksien vaiheittaiset muutokset, jotka tehtiin kalibroinnin jokaisessa vaiheessa. Osiossa 10.2.2 raportoidaan lopullisen kalibroidun mallin ominaisuudet ja osiossa 10.2.3 kalibroidun mallin tulokset kalibroitajaksolta vesitaseesta, pintavesivirtauksista ja pohjaveden tasoista. Kalibroidulla mallilla tutkitaan sitten erityyppisiä vuosia sekä tulevan kaivostoiminnan vaikutuksia ja nämä tulokset raportoidaan osioissa 11.1 ja 11.2.

10.2.1 Mallin asteittaiset muutokset kalibroinnin aikana

Kaikkiaan kalibroitiprosessi koostui 134 eri herkkyystapauksesta, jotka kaikki simuloitiin ajalta lokakuusta 2017 lokakuuhun 2020. Eri herkkyystapauksissa yhden tai usean ominaisuuden yhdistelmän arvoja on muutettu järjestelmällisesti, jotta voidaan arvioida muutoksen vaikutusta mallituloksiin. Figur 10-8 sisältää kalibroinnin aikana tehdyt valinnat ja seuraavassa tekstissä esitetään tärkeitä tuloksia suoritetuista herkkyysanalyyseistä, jotka johtivat kalibroinnin jokaisessa vaiheessa tehtyihin päätöksiin.

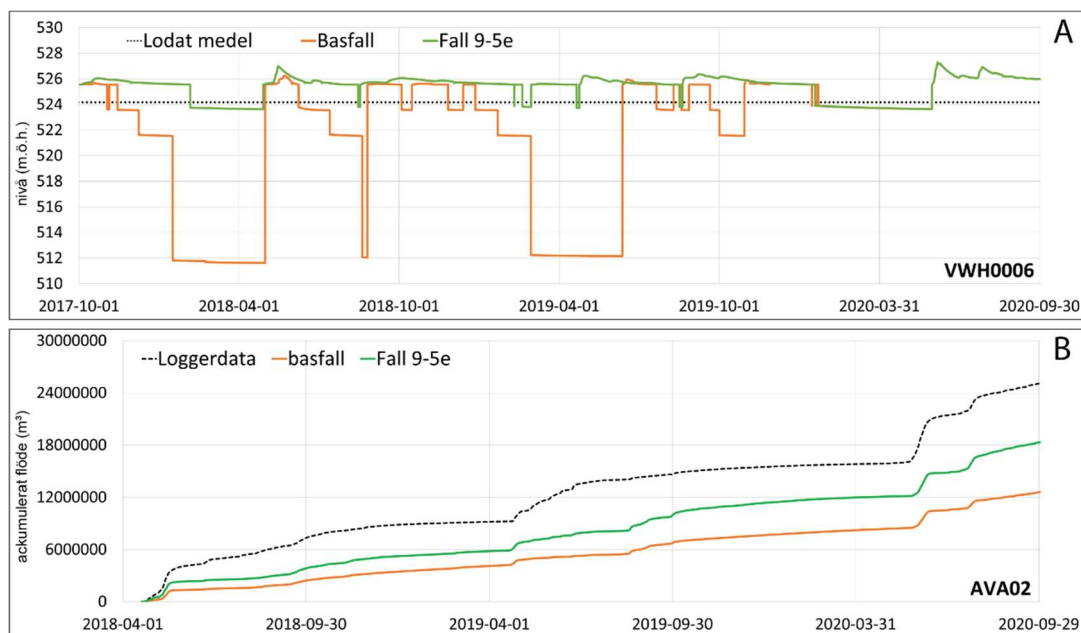


Kuva 10-8. Kalibrointiprosessin kaaviokuva. Tärkeät kalibroinnin aikaiset osamallit esitetään yksittäisissä laatikoissa ja kunkin osamallin kalibrointitavoitteet sekä kussakin vaiheessa tutkitut parametrit luetteloidaan katkoviivoilla varustetuissa kehyksissä.

Paikallisen mallin kalibrointi ja herkkyysanalyysi aloitettiin ajamalla aluemallin lopullinen tapaus paikalliselle alueelle 50x50 metrin resoluutiolla (Figur 10-8: Perustapaus). Ensimmäisessä vaiheessa (Figur 10-8: Tavoite 1) tutkittiin sitten kokonaisuudessaan vesitase sekä vuoden sisäiset vaihtelut tarkastelemalla herkkyyttä mahdollisen haihtumisen muutoksille sekä valutettavan veden määrää turpeessa ja moreenissa. Tulokset osoittivat kuitenkin, että kokonaisvesitase oli oikeassa suuruusjärjestyksessä jo perustapauksessa eikä ensimmäinen simulaatiokaan tuottanut virheitä vesitaseessa. Tässä alkuvaiheessa tehdyt herkkyysanalyysit eivät myöskään antaneet tuloksia, jotka vaikuttaisivat valumaan mihinkään selkeään suuntaan alueen vesistöissä. Toisin sanoen potentiaalisen kokonaishaihdunnan (PET) ja eri maaperätyyppien valutettavan veden määrälle käytetyt arvot saivat säilyä kalibroinnin seuraavaan vaiheeseen asti. Vuoden sisäistä dynamiikkaa

koskevat yksityiskohdat eri valuma-alueiden valutuksessa eivät esimerkiksi olleet tyydyttävät tässä vaiheessa, mutta koska yleinen kokonaisvesitase oli oikeassa suuruusluokassa, valuman dynamiikan yksityiskohdat jätettiin tuleviin kalibrointivaiheisiin.

Seuraavassa vaiheessa (Figur 10-8: Tavoite 2) tutkittiin pohjaveden dynamiikkaa ja tasoja maaperässä ja kalliolla vaihtelemalla sekä K_h :tä että K_v :tä maa- ja kalliokerroksissa ja rako- ja malmivyöhykkeissä. Alhaisempi vedenläpäisevyys moreenissa, taustakalliolla ja pintakalliolla antoi hyviä tuloksia verrattaessa mallinnettuja ja mitattuja pohjaveden pinnan tasoja, ja useita yhdistelmätapauksia tutkittiin (Figur 10-9). Tässä vaiheessa virtaamat Pahtajoessa ja Tvillingtjärn-järvijärjestelmässä sekä kaivospurossa olivat liian alhaiset havaintoihin verrattuna. Myös kaivoksen romahtaneen osan "järven" pinnat olivat liian alhaiset. Siksi mallin herkkyys erilaisille muutoksille maakerrosten huokoisuudessa, vedenjohtavuuskyky maakerrosten aivan ylimmässä osassa (kuivatustoiminto MIKE SHE -mallissa) sekä kallion rakovyöhykkeiden laajuus ja ominaisuudet tutkittiin (Figur 10-8: Tavoite 3).



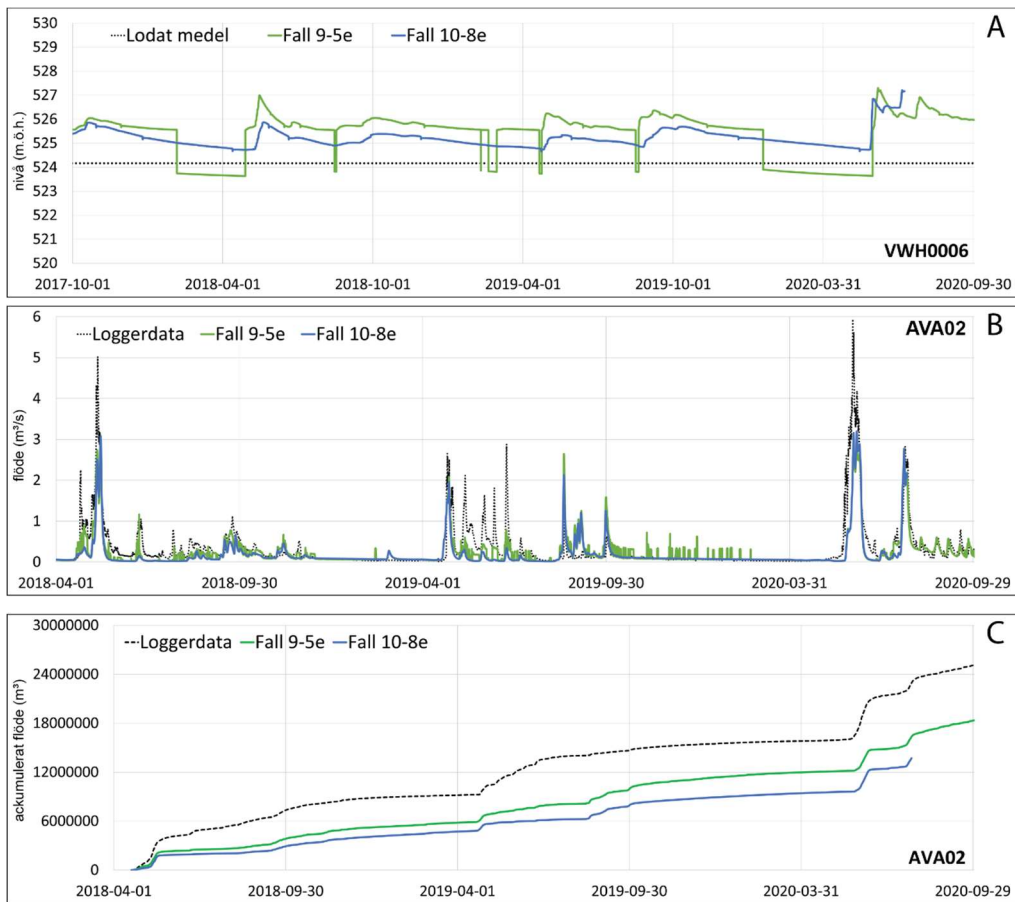
Kuva 10-9. Vertailu perustapauksen ja tiheämmällä taustalla ja ulkokalliolla sekä tiheämmällä moreenilla varustetun tapaus 9-5e:n välillä. A) pohjaveden pinnan taso putkessa VWH0006: Perustapauksessa käyrässä on monia äkillisiä ja jyrkkiä laskuja, jotka johtuvat pohjaveden pinnan laskemisesta toiseen laskentakerrokseen, jonka läpäisevyys on liian korkea. Tiheämmässä kalliolla ja moreenissa tämä vaikutus on paljon pienempi. B) Kertynyt virtaama mittauspisteessä AVA02: tiheämmässä kalliolla ja moreenissa virtaama Pahtajoen järjestelmässä lisääntyy, vaikka se on edelleen toivottua alhaisempi.

Tyhjennetyin malmin alueiden laajuus ja vedellä täyttyneitä kaivoskäytäviä kuvaavat sortumavyöhykkeet rajoittuivat perustapauksessa kaivosta leikkaaviin soluihin. Tässä kalibroinnin vaiheessa sortumavyöhykkeiden laajuutta lisättiin maan pintaan saakka. Syynä tähän on, että kaivoksen osia sortui kaivoksen pohjoisosaan eikä häiriöttömän taustakallion ominaisuuksien voida olettaa pätevän suoraan kaivoksen yläpuolella. Tässä vaiheessa myös taustakallion ja rakovyöhykkeiden johtavuus pieneni. Näiden muutosten perusteella saatiin parempia, mutta ei riittävän hyviä tuloksia (Figur 10-10). Laajoista kallion ominaisuuksista koskevista analyyseistä huolimatta kaivoksen sortuneen osan vedenpinta pysyi liian alhaisena eivätkä mitkään fysikaalisesti perustellut ominaisuuksien muutokset parantaneet mallin tuloksia. Analysoitavaksi jäi sitten Kiirunavaaran kaivoksen vaikutus, jota paikallisessa mallissa käsitellään aluemallista lasketun painereunan kautta.

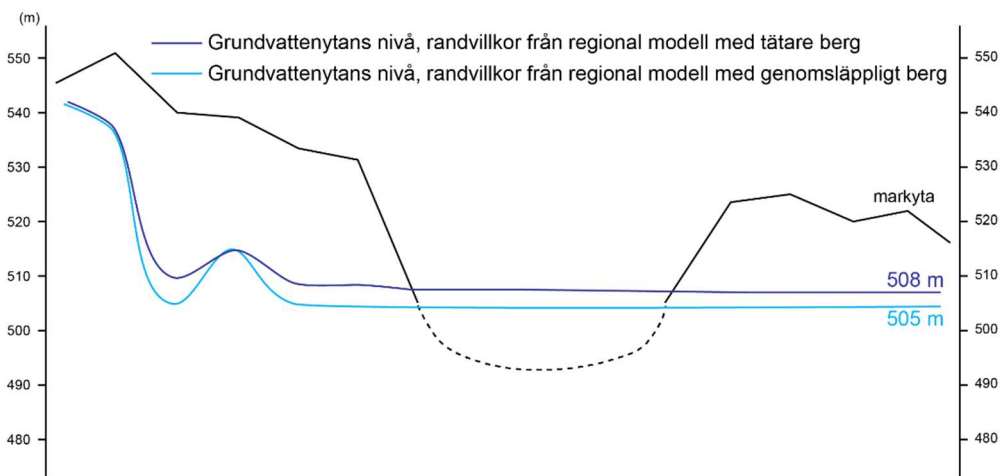
Aluemallin ensimmäisellä kalibrointikerroksella taustakallio oli suhteellisen läpäisevää, K -arvoltaan 1×10^{-8} m/s, mikä synnytti suhteellisen suuren painumissuppilon Kiirunavaaran kaivoksesta ja vaikutti siten voimakkaasti paikallisen mallin reunan tasoihin (ks. 10.1.1). Kun

taustakallion vedenläpäisevyyttä paikallisessa mallissa pienennettiin, tällä ei ollut vaikutusta, koska rajan alun perin alueellisessa mallissa lasketut alhaiset tasot "lukittiin" malliin. Toisin sanoen: aluemallin ensimmäisellä kalibrointikerroksella käytetyn läpäisevämmän kallion vuoksi Kiirunavaaran kaivoksen vaikutus aluemalliin oli suhteellisen suuri ja siten asetettiin matalat tasot paikallismallin rajalla olevalle kalliolle. Nämä alhaiset tasot pysyivät liian alhaisina, vaikka paikallismallin kallion ominaisuuksia muutettiin, jotta pohjaveden pinnan taso olisi korkeampi eri syvyyksillä paikallisessa mallissa. Vaikka muuttuneet ominaisuudet paikallisessa mallissa johtivat tiettyyn pohjaveden pinnan nousuun kalliossa, nousu ei ollut riittävä. Pohjaveden pinnan korkeudet Peuravaaran kalliossa pysyivät liian alhaisina ja pohjaveden pinnan taso kaivoksen sortuneessa osassa A-vyöhykkeellä oli useita metrejä havaitun tason, noin 510 mpy, alapuolella. Tärkeä osa kalibrointia on ollut oikean pohjaveden pinnan tason saavuttaminen veden täyttämässä kaivoksessa eikä aluemallin reunalle asetettujen alhaisten pohjaveden pinnan tasojen saavuttaminen ole ollut mahdollista.

Sen selvittämiseksi, voisiko taustakallion vedenläpäisevyyden aleneminen vaikuttaa positiivisesti sortuneen kaivoksen vedenkorkeuteen, käytettiin tiukkaa reunaa koko paikallisen mallin ympärillä. Tämän simulaation avulla Kiirunavaaran kaivoksen vaikutus nollattiin paikallisessa mallissa ja vasta sen jälkeen voitiin tutkia tiiviimmän kallion vaikutusta. Tämä herkkyyksianalyysi osoitti, että tiiviimmällä taustakalliolla oli erittäin myönteinen vaikutus kallion pohjaveden pinnan tasoon, ja vapaan pohjaveden pinnan korkeus vedellä täyttyneessä romahtaneessa kaivoksessa kohosi noin 3 metriä ja lähestyi havaittua korkeutta 510 m mpy. (Figur 10-11). Tulokset herkkyyksianalyysistä paikallisessa mallissa tiiviimmässä kalliossa (Figur 10-8: Tavoite 3) motivoivat aluemallin tarkistamista (vaihe 2, ks. 10.1), joka ajettiin uudelleen kallion päivitetyillä ominaisuuksilla. Näiden laskelmien tulokset raportoidaan osiossa 10.1. Paikallisen mallin vastaiseen reunaan kohdistuva vaikutusväheni tiiviimmän kallion myötä ja paikallinen malli päivitettiin uudella painereunalla. Tämä kalibrointivaihe paransi merkittävästi pohjaveden dynamiikan tuloksia sekä maaperässä että kalliossa.



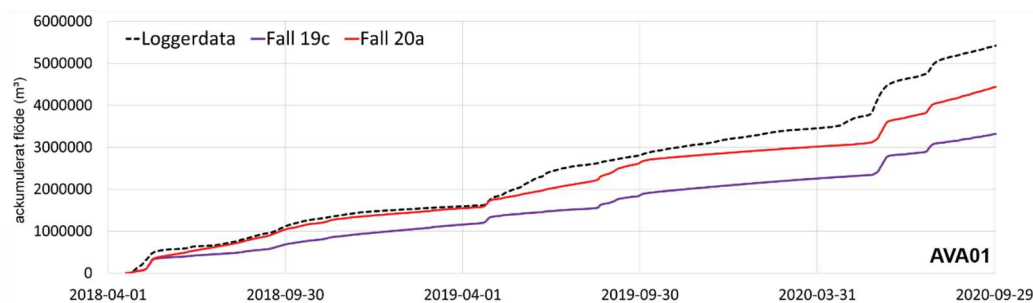
Kuva 10-10. Vertailu tapauksen 9-5e (ks. Figur 10-9) ja tapauksen 10-8e välillä, jossa maakerrosten huokoisuus on muuttunut ja johtavuus kallio- ja rakovyöhykkeissä on vähentynyt. A) pohjaveden korkeus putkessa VWH0006: muutokset johtavat tasaisempaan pohjaveden pinnan tasoon, joka ei laske alempiin laskentakerroksiin. B) Virtaama mittauspisteessä AVA02: muutokset tiheimmissä kallio- ja rakovyöhykkeissä ja maaperäkerroksissa, joilla on suurempi vedenpidätyskyky, synnyttävät tasaisemman käyrän ilman pieniä vaihteluita (selkeästi etenkin talven 2019/2020 aikana). Kertynyt virtaama kuitenkin pienenee jälleen, mikä näkyy kohdassa C.



Kuva 10-11. Pohjaveden pinta kaivoksen sortuneen osan läpi tapauksessa, jossa tiivis kallio aiheutti aluemallista virheellisen vaikutuksen ja tiiviin kalliin tapauksessa korjattuna alueellisen mallin vaikutuksella.

Lopullisissa kalibrointivaiheissa (Figur 10-8: Tavoite 4) painopisteenä olivat sortuneen kaivoksen vedenpinnat ja kaivospuron virtaama sekä Kaksoisjärvijärjestelmän alhainen tilavuus. Tiiviimpi kallioperä vuorovaikutuksessa moreenin lisääntyneen huokoisuuden ja laskentakerrosten paksuuden muutosten kanssa ohjasi kaivoksen sortuneen osan pohjaveden pinnan hyvälle tasolle, mutta kaivospuron virtauksen dynamiikka eivät tallentunut malliin. Erilaisia muutoksia lumen sulamis- ja sadeparametreissa tutkittiin, mutta ne eivät tuottaneet toivottuja tuloksia. Malli tuotti suhteellisen tasaisen perusvirtaaman kaivoksesta ja vuotuinen valumamäärä oli hyväksyttävä. Lopuksi todettiin, että kaivospuron dynamiikkaa ei todennäköisesti voida vangita ilman routaa kuvaavia lisämalliprosesseja. Vaikka veden täyttämisen kaivoksen pohjavesi olisi jäätyvätöntä, alueella, josta pohjavettä virtaa maan pinnalle, esiintyy jäätymisolosuhteita. Ympäröivän maan routimisen ja maanpinnan jäänmuodostuksen vuoksi pohjaveden ulosvirtaus kaivospuroon pienenee talvikaudella. Tämän jakson aikana pohjaveden paine luultavasti kohoaa, mikä aiheuttaa suuremman virtaaman lumen sulamisen aikana. Koska kaivospuron virtauksen dynamiikalla ei ole ratkaisevaa merkitystä tulevan kaivostoiminnan vaikutusten analysoinnissa, päätettiin tämä järjestelmän osa jättää ennalleen.

Kalibrointiprosessin tässä vaiheessa Tvillingtjärn-järvijärjestelmän virtausasemalta AVA01 puuttui edelleen merkittävä määrä vettä. Vaikka malli ei ottanut huomioon kaivospuron dynamiikkaa, kaivospuron kokonaisvolyymi oli hyväksyttävä, mikä viittaa siihen, että kaivospurosta alavirtaan oli muita prosesseja tai ominaisuuksia, jotka aiheuttivat puuttuvan volyymin Tvillingtjärn-järvijärjestelmään virtaavasta vesistöistä. Kemiallisten tietojen analysoinnin perusteella todettiin, että Tvillingtjärn-järvijärjestelmän kloridipitoisuudet olivat korkeita. Korkeat kloridipitoisuudet johtivat analyysiin mahdollisista kloridilähteistä ja alueen ainoa kloridilähde on Luossajärvi. Aiemmin, ennen 1990-lukua, Luossajärvestä siirrettiin vettä järven pohjassa olevaa putkea pitkin ja vesi johdettiin ulos Luossajärven ja Tvillingtjärn-järvijärjestelmän väliselle alueelle rautatien pohjoispuolella. Massataselaskennan avulla todettiin, että noin 30 % AVA01:n mitatusta virtaamasta tulisi tapahtua Luossajärvestä, jotta havaitut kloriditasot toteutuvat. Vesijohto on tällä hetkellä tukittuna, mutta massatase osoittaa, että vettä vuotaa edelleen järvestä. Mahdollisen Luossajärvestä tapahtuvan vuodon vaikutuksen selvittämiseksi laskettuun valumamäärään AVA01:ssä mallissa käytettiin virtaamaa metsäisellä maalla alueella, jossa putken tulee sijaita. Mallin lisätty vesimäärä vastasi 30 %:a AVA01:ssä mitatusta volyymin lisäytynä haihtumishäviöillä, joiden odotetaan vaikuttavan veteen matkalla lähteestä AVA01:tä vastaavaan mallin pisteeseen. Näitä vesimääriä lisäämällä päästiin huomattavasti parempaan yhdenmukaisuuteen AVA01:ssä laskettujen ja havaittujen tilavuuksien välillä, ja kalibroitu paikallinen malli oli valmiina lisäanalyysiä varten (Figur 10-12).



Kuva 10-12. AVA01:n kertyneen virtaaman vertailu tapaukselle 19c ja tapaukselle 20a: ennen ja jälkeen Luossajärvestä tulevan linjan virtaaman lisäämistä.

10.2.2 Kalibroidun mallin lopullinen ominaisuusjoukko

Kalibrointi johti siihen, että alun perin asetettuja ominaisuuksia taulukon Tabell 6-3 mukaisesti säädettiin ja malliin lisättiin useita uusia maa- ja kallioluokkia. Tabell 10-2 luettelee kalibroidun mallin kyllästyneen alueen ominaisuudet. Tärkeimmät malliin tehdyt muutokset on tehty kyllästyneellä alueella. Muut kalibroinnin aikana muihin komponentteihin tehdyt muutokset on koottu taulukkoon Tabell 10-3.

Tärkeimmät muutokset perustapaukseen verrattuna ovat, että taustakallion läpäisevyys on pienentynyt ja vedenjohtavuuden syvyyden vähentymistä on oletettu tapahtuvan sekä taustakallio- että malmivyöhykkeillä. Taustakallio on jaettu kolmeen luokkaan syvyyden pienentämisen mahdollistamiseksi ja malmivyöhykkeet on jaettu kahteen luokkaan. Kallion vedenläpäisevyyden aleneminen oli ratkaisevan tärkeää, jotta malli saatiin onnistuneesti tuottamaan kohtuullisia tuloksia kaivoksen sortuneen osan vedenpinnasta. Maaperän kerroksiin on lisätty useita luokkia, sen mahdollistamiseksi, että ominaisuuksien vaihtelua voisi tapahtua yhden ja saman maaperätyypin sisällä, koska paikallisen mallin korkeampi resoluutio mahdollisti suuremman yksityiskohtien määrän luokitteluisissa.

Taulukko 10-2. Geologisten yksiköiden hydrauliset ominaisuudet mallin kalibroinnin jälkeen. Kannattaa huomata, että useita uusia luokkia on lisätty verrattuna luokkiin, jotka raportoidaan osiossa 6.2.

	Horisontaalinen hydraulinen johtavuus (m/s)	Vertikaalinen hydraulinen johtavuus (m/s)	Veden vapautumisnopeus, (-)	Eriytyinen varastointikerroin (/m)
Jäävirran materiaali	1×10^{-4}	1×10^{-4}	0,34	0,2
Turve	6×10^{-7}	3×10^{-7}	0,7	0,05
Järvisedimentti	1×10^{-9}	1×10^{-9}	0,2	0,0001
Hiekkainen moreeni	1×10^{-5}	1×10^{-6}	0,3	0,0003
Tiheä moreeni	5×10^{-6}	5×10^{-7}	0,2	0,0003
Täyte	1×10^{-5}	1×10^{-5}	0,2	0,0001
Rikastushiekka-allas	1×10^{-4}	1×10^{-4}	0,34	0,2
Hylkykivivarasto	1×10^{-4}	1×10^{-4}	0,2	0,2
Rikastushiekka-altaan tiivis ydin	1×10^{-7}	1×10^{-7}	0,2	0,0001
Yksityiskohtainen täyttö rikastushiekka-altaan penkereessä	1×10^{-5}	1×10^{-5}	0,2	0,0001
Sortumavyöhykkeet	1×10^{-3}	1×10^{-3}	0,2	0,0001
Purkautumaton malmi	5×10^{-5}	5×10^{-5}	0,1	0,2
Malmivyöhykkeet 0-300 m	1×10^{-6}	1×10^{-6}	0,1	0,0001
Malmivyöhykkeet >300 m	1×10^{-7}	1×10^{-7}	0,1	0,0001
Rakovyöhykkeet	1×10^{-6}	1×10^{-6}	0,1	0,0001
Ylempi kallio 10 m	1×10^{-6}	1×10^{-7}	0,2	0,0001
Taustakallio 0-100 m	1×10^{-9}	1×10^{-9}	0,05	0,000001
Taustakallio 100-300 m	1×10^{-9}	1×10^{-9}	0,05	0,000001
Taustakallio >300m	$5,2 \times 10^{-10}$	$5,2 \times 10^{-10}$	0,05	0,000001

Taulukko 10-3. Suuret mallissa tapahtuneet muutokset, jotka eivät liity kyllästyneen alueen hydraulisiin ominaisuuksiin, on lueteltu yllä olevassa taulukossa.

Parametri	Muutos	Perustelu
Topografia	Korjattu sortuneessa kaivoksessa	A-vyöhykkeen kaivoksen sortunutta osaa kuvaava syvennys jouduttiin asettamaan käsin, koska se ei kuvautunut 50x50 metrin malliresoluutiolla.
Sortumavyöhykkeet	Sortumavyöhykkeet sisällytetään malliin	Kaivoksella on ollut suuri vaikutus yläpuolella olevaan kallioon A-vyöhykkeen pohjoisosassa, jossa suuria osia on sortunut. Perustapauksessa tätä ei ollut otettu huomioon.
Tyhjennysvakio	$TC_{\text{perustapaus}} \times 5$	Alueen vesistöjen valuma oli yleisesti ottaen liian alhainen. Jotta maastossa olevat pienet ojat, joita ei ole kuvattu vesistömallissa, sekä suurempi vedenläpäisevyys maakerrosten ylemmässä puolen metrin kerroksessa tulisi otetuksi huomioon, ominaisuuksia muutettiin siten, että pintakuivatus tehostui.
Sadanta	Malliin lisätty ylimääräinen virtaama, joka vastaa noin 30 % havaitusta virtaamasta Tvillingtjärnjärvistä alavirtaan, sekä haihtumishäviöt	Todennäköisesti Luossajärvestä tulevan vuotavan putken kautta Tvillingtjärnjärviin tulevan kloridipitoisen veden sisäänvirtauksen huomioon ottaminen.

10.2.3 Tulosten kalibrointi

Osioissa 10.2.3.1–10.2.3.3 esitetään lopullisen kalibroidun mallin tulokset. Tulokset on jaettu vuotuista vesitasetta, pintavettä ja pohjavettä koskevaan raportointiin.

10.2.3.1 Vesitase

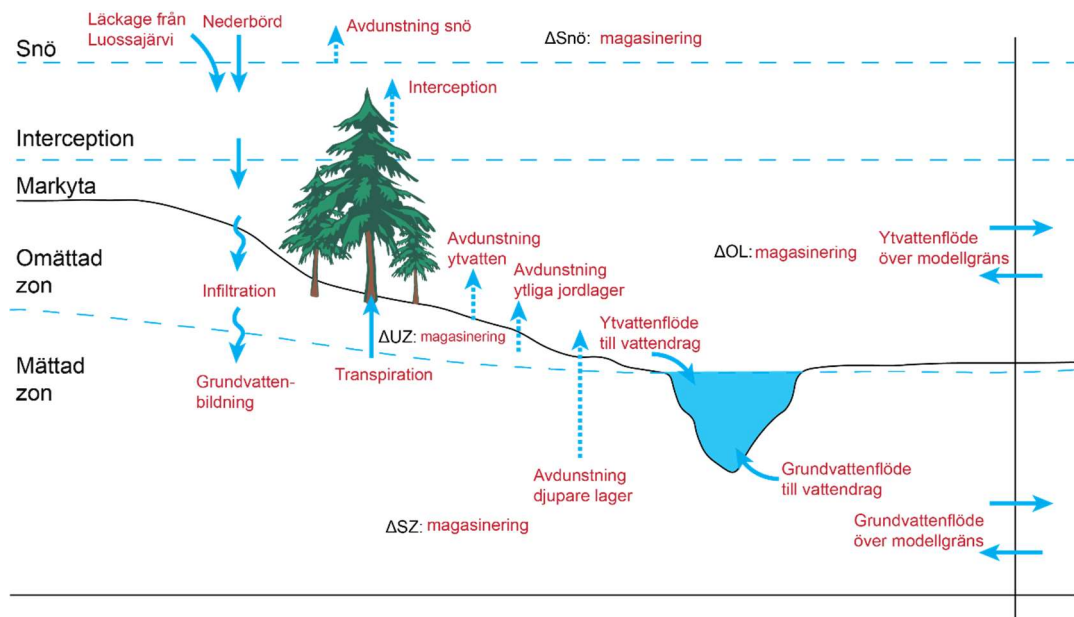
MIKE SHE:ssä vesitaseet voidaan laskea koko mallialueelle tai sen osille ja taseet lasketaan käyttäjän määrittelemältä ajanjaksolta. Mallin sisään- ja ulosvirtausten lisäksi voidaan laskea myös liitetyn pinta- ja pohjavesijärjestelmän eri osien välisiä virtauksia. Erilaisia virtaamia esitetään kuviossa Figur 10-13, jossa on myös kuvion eri osia koskevat selitykset. Figur 10-14 esittää vesitaseen, joka pohjautuu koko paikalliseen mallialueeseen, laskettuna mallialueelle (mm/v) kalibrointijaksolla normalisoituna vuosikeskiarvoina aikajaksolta 1.10.2017–1.10.2020.

Kalibrointijakson keskimääräinen sademäärä vuodessa on 695 mm. Malliin on lisätty luonnollisen sateen lisäksi 29 mm/vuosi, joka edustaa vuotoa Luossajärven ja Tvillingtjärnjärvien välisestä putkistosta. Tätä ylimääräistä vettä lisätään vain mallin yhteen soluun Luossajärven vuotoalueella, mutta normalisoituna koko mallialueella se vastaa määrää 29 mm/vuosi. Haihtumisen kokonaismäärä on noin 365 mm/vuosi, josta lähes puolet muodostuu kasvillisuuden interseptiosta ja transpiraatiosta, runsas neljännes lumen sublimaatiosta ja loppuosa maaperästä ja vedestä tapahtuvasta haihtumisesta. Pohjaveden muodostuminen maakerrokseen on keskimäärin n. 349 mm/vuosi. Pohjaveden muodostumisen kallion ylempään 10 metrin osaan, jossa on enemmän murtumia, on

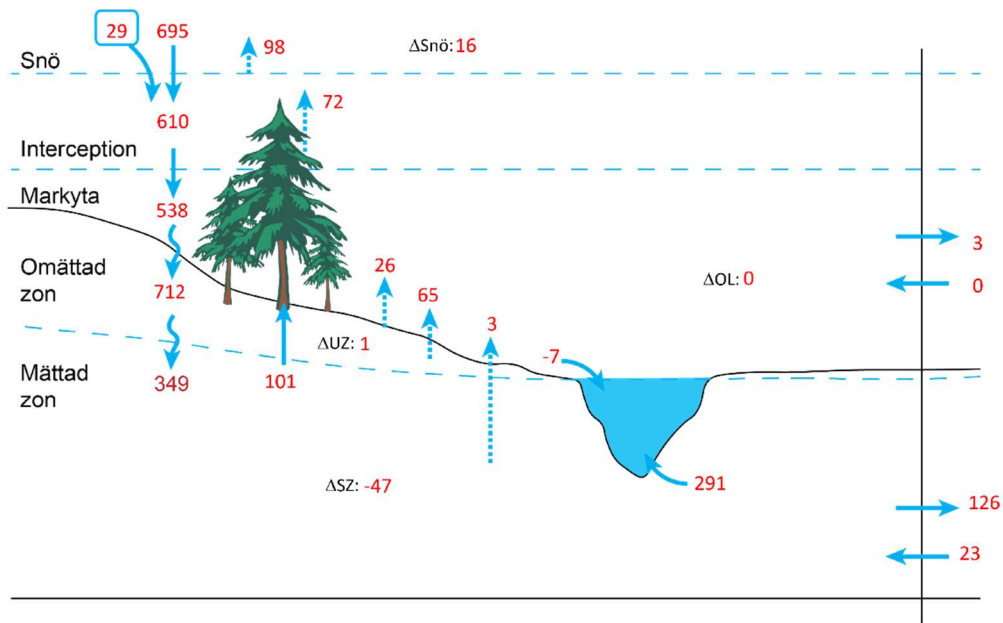
laskettu olevan 12 % pohjaveden muodostumisesta maaperään ja pohjaveden muodostumisen tiiviimpään kallioon olevan noin 2 % pohjaveden muodostumisesta maaperään. Tämä on linjassa muiden tutkimusten kanssa, jotka on tehty pohjaveden muodostumisesta kiteisessä muodossa olevaan kallioon (SGU, 2017). Pohjaveden muodostuminen vaihtelee ympäri vuoden ja se saavuttaa huippunsa kesäkuun ensimmäisellä puoliskolla lumen sulamisen jälkeen. Toinen korkeamman pohjaveden jakso on havaittavissa elokuun loppupuolella, kun loppukesän sateet kasvattavat pohjavesivarantoa. Marraskuusta toukokuun alkupuolelle saakka pohjaveden muodostuminen on vähäistä.

Kokonaispintavirtaama alueelta on 287 mm/vuosi. Aluemallin laskelmiin perustuva painereuna tuottaa reunan yli tapahtuvan pohjaveden ulosvirtauksen määräksi yli 103 mm/vuosi. Koska paikallismallin reuna ei seuraa pinta- tai pohjavesijakoa, tämä virtaus on täysin kohtuullinen. Virran suunnan ja voimakkuuden voidaan kuitenkin katsoa olevan Kiirunavaaran kaivoksen vaikutuksen alainen ja kaivoksen aiheuttama vajoaminen todennäköisesti lisää pohjaveden virtausta kaakkoon paikallismallin itäosassa.

Koska kalibrointijakson aikana simuloidaan kolmea peräkkäistä vuotta eri sademäärillä ja mahdollisella haihtumisella, varastossa voi tapahtua muutos. Kyseisten kolmen vuoden aikana pohjavesivarasto pienenee 47 mm, kyllästymättömän vyöhykkeen vesipitoisuus 1 mm ja lumivarasto kasvaa 16 mm. Jos samaa vuotta pyöritettäisiin useiden vuosien ajan, nämä varastojen muutokset kävisivät olemattomiksi.



Kuva 10-13. Selvittävä kuva raportissa esitetystä vesitaseesta.

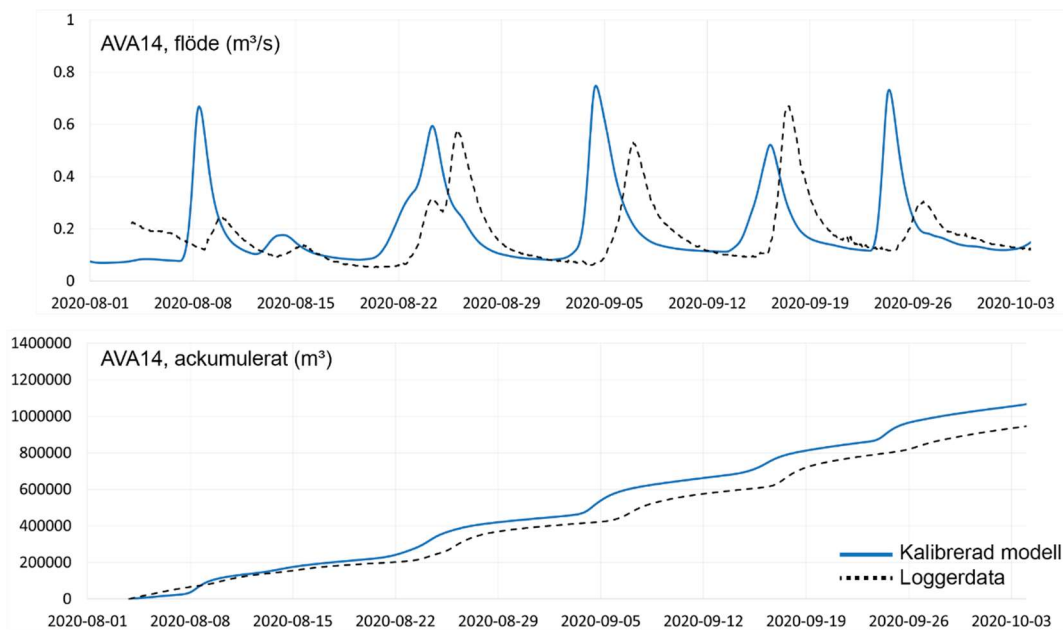


Kuva 10-14. Vesitase mm/vuosi kalibroitajakson aikana. Katso mukana olevien kohteiden selitykset kuviosta Figur 10-13.

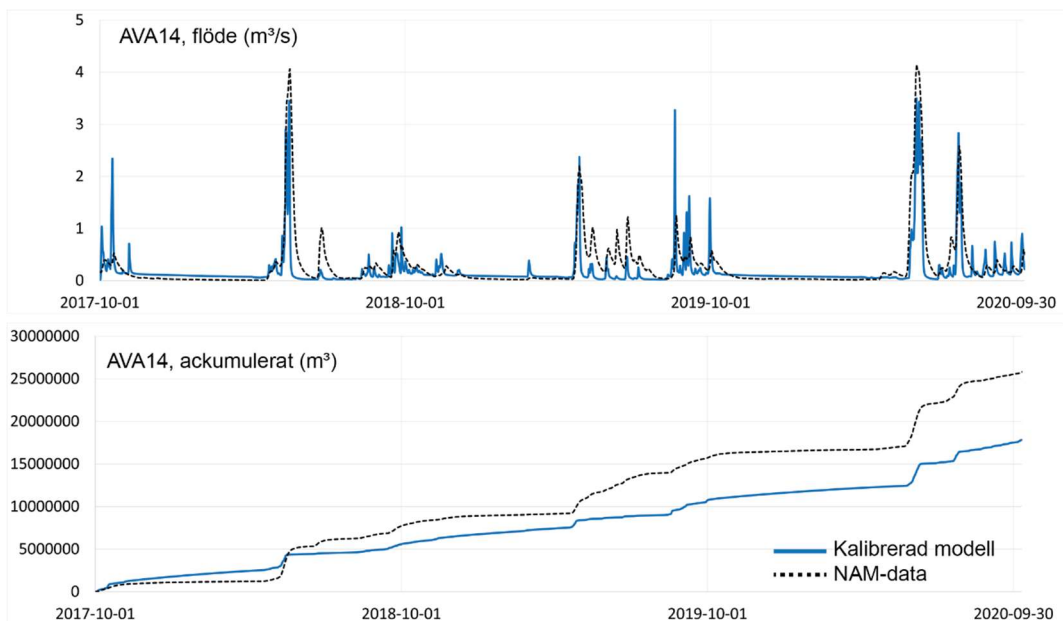
10.2.3.2 Pintavesi

Mallialueella on neljä virtausmittausasemaa, joilla tehdään aktiivisia mittauksia kalibroitajakson aikana, katso kartta kuviossa Figur 4-12. Pahtajoen järjestelmässä sijaitsevat asemat AVA14 ja AVA02 ja Tvillingsjö-järjestelmässä asemat AVA15 ja AVA01. Asemien AVA02, AVA15 ja AVA01 osalta lokitiedot ovat saatavana huhtikuusta 2018 lähtien, kun taas asemalta AVA14 on saatavana vain mittaukset elokuulta 2020. Jotta pohjavesimallin kalibroinnissa voitaisiin käyttää myös AVA14:ää, aikasarjaa on jatkettu ajassa taaksepäin NAM-laskelmien avulla, katso kohdat 8.1 ja 9.1. AVA14:n laskettuja ja mitattuja virtauksia verrataan sekä lokitietoihin että NAM-laskelmiin perustuviin virtauksiin.

Figur 10-15 sisältää AVA14:n tulokset, jotka perustuvat lokitietoihin ajanjaksolta elo-syyskuu 2020. Mitatut virtaukset esitetään mustalla katkoviivalla ja mallinnetut virtaukset sinisellä viivalla. Lasketut ja mitatut virtaamat ovat samaa suuruusluokkaa, ja vaikka aikasarjat ovat hieman siirtyneet, malli kuvaa hyvin yleistä kuviota. Kuvan Figur 10-15 alaosassa näkyy kertynyt virtaama. Mallinnettu virtaama on hieman suurempi kuin mitattu, noin 12 %; katso Tabell 10-4. Koska mitatun virtauksen jakso asemalla AVA14 on vain parin kuukauden mittainen eikä sisällä pienten talvivirtaamien eikä korkeiden lumen sulamisvirtausten jaksoa, valittiin mallitietojen vertailu myös NAM-laskelmien virtaamiin koko kalibroitajakson osalta. Figur 10-16 näyttää tämän vertailun tulokset. Yleinen malli mitataan sekä perusvirtaamilla että kevävirtaamilla, jotka ovat samaa suuruusluokkaa kuin mallinnetut NAM-virtaamat, mutta osittain lumen sulamishuippukohdat ovat jonkin verran aliarvioituja, osittain puuttuvat kesävirtaamat, varsinkin kesältä 2019. Alhaisille mallinnetuille kesävirtaamille voi olla useita syitä; esimerkiksi paikalliset erot sadetiedoissa tai mallin vaste on liian pieni liian kuivien olosuhteiden vuoksi ennen sateita. Kokonaisero NAM-lasketun virtaaman ja vesistön virtaaman välillä MIKE SHE -mallissa on noin 31 % kolmen vuoden ajalta, josta pääosa koostuu vuoden 2019 kesäsateiden puuttuvista huippuarvoista.



Kuva 10-15. Mallinnetut ja mitatut virtaustiedot mittauspisteestä AVA14.

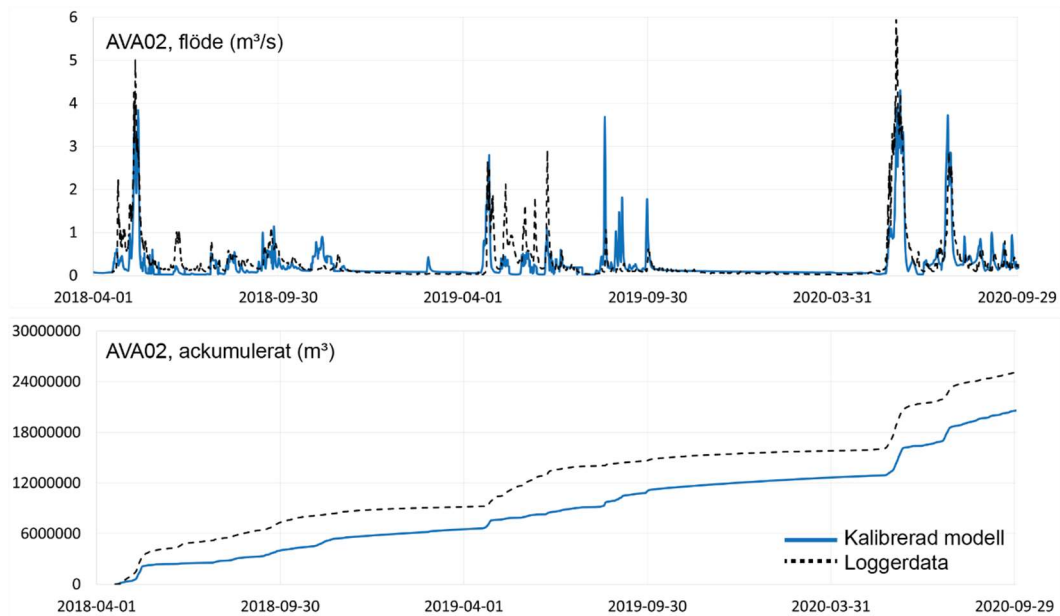


Kuva 10-16. Mallinnettu ja NAM-mallinnettu virtaaman aikasarja mittauspisteelle AVA14.

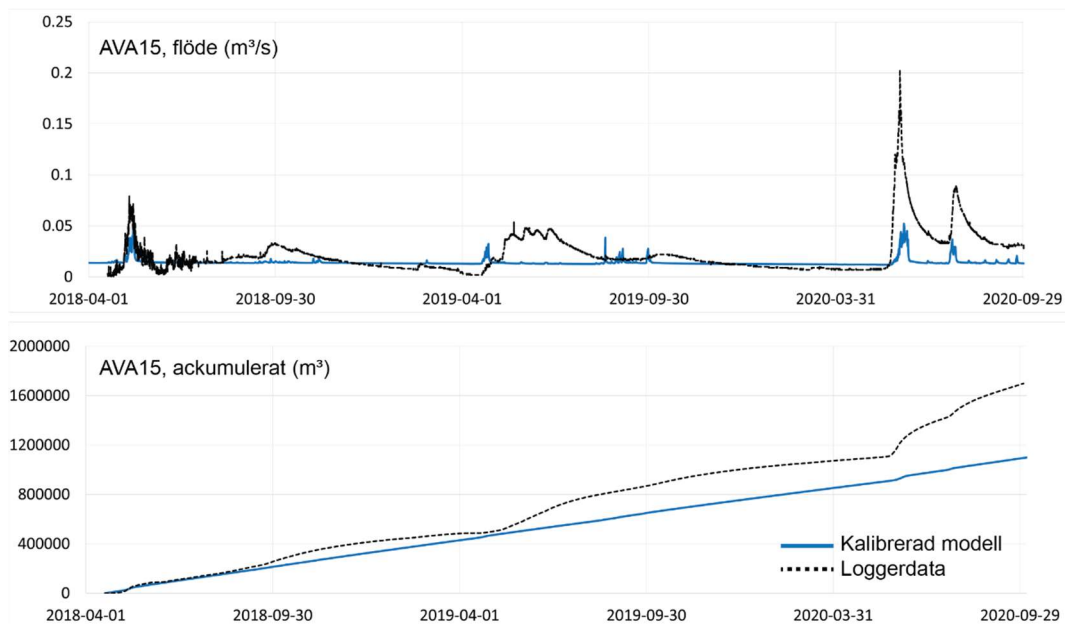
Figur 10-17 näyttää mallinnetut ja mitatut virtaaman aikasarjat asemalle AVA02, joka sijaitsee alavirtaan AVA14:stä. Mallinnetun aikasarjan yleinen malli sopii hyvin yhteen mitattujen tietojen kanssa, vaikka, kuten AVA14:ssä todettiin, lumen sulamishuippujen ja kesäsateiden aikana vuonna 2019 jonkin verran volyymin puuttua. Kokonaisero mitatun ja mallinnetun volyymin välillä on noin 18 %, mikä on asetetun 20 % tavoitteen rajoissa.

Figur 10-18 näyttää mitatun ja mallinnetun virtaaman virtausasemalta AVA15, joka sijaitsee purossa välittömästi Viscarian kaivokselta alavirtaan. AVA15:n mitattu virtaaman aikasarja eroaa hieman ulkonäöltään muihin asemiin verrattuna. Syynä tähän on, että AVA15:n virtaama koostuu suurelta osin pohjavedestä, joka tulee suljetun kaivoksen pohjoisen sortuneen osan kautta. Asemalla mallinnetun virtaaman suuruusluokka on hyvin sopusoinnussa mitatun tiedon kanssa, mutta vuoden sisäinen vaihtelu on aivan liian pieni. Tämä johtuu todennäköisesti jäätymismekanismeista, jotka todellisuudessa aiheuttavat alhaisempia perusvirtaamia jäätymisjakson aikana, jolloin korkeammat sulamishuiput

lämpötilan kohotessa eivät sisälly malliin. Sen sijaan, että vesi joka todellisuudessa valuu maata pitkin lumen ja jään alkaessa sulaa maan ollessa edelleen jäässä, suodattuu malliin, mikä aiheuttaa viivettä ja alempia virtaaman huippuja virtauksen päätyessä vesistöön. Lisäksi mallissa olevan pohjaveden annetaan virrata vesistöön koko talvikauden ajan. Todennäköisesti ulosvirtaus todellisuudessa vähenee, kun routaa ja jäätä muodostuu maanpintaan. Nämä jäätyismekanismit voitaisiin sisällyttää malliin, mutta tätä ei katsottu välttämättömäksi käyttää mallissa tulevan kaivostoiminnan vaikutusten kuvaamiseen. Asemalla AVA15 mallinnetun ja mitatun virtaaman ero kertyneestä kokonaisvirtausmäärästä on noin 36 %, josta suurin osa muodostuu vuoden 2020 lumen sulamisesta.



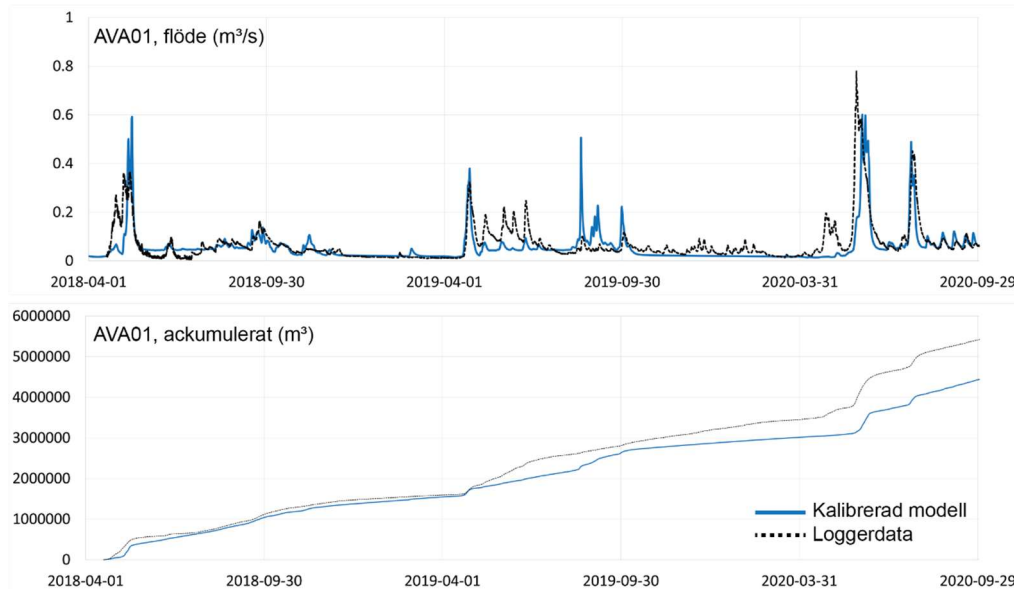
Kuva 10-17. Mallinnetut ja mitatut virtaustiedot mittauspisteestä AVA02.



Kuva 10-18. Mallinnetut ja mitatut virtaustiedot mittauspisteestä AVA15.

Figur 10-19 näyttää mitatun ja mallinnetun virtaaman asemalla AVA01, joka sijaitsee välittömästi Tvillingjärn-järvijärjestelmästä alavirtaan. Samalla tavoin kuin AVA14:n ja

AVA02:n suhteen, yleinen malli pätee hyvin mitatun ja mallinnetun virtauksen välillä. Kertyneen kokonaisvolyymien lähtökohdasta katsoen se eroaa noin 18 % (ks. Tabell 10-4), mikä on asetetun 20 % eron enimmäistavoitteen rajoissa. Suurin osa erosta johtuu vuoden 2020 lumen sulamisen aikana aliarvioidusta volyymista. Koska AVA01 kuitenkin sijaitsee alavirtaan AVA15:stä ja lumen sulamisen aliarviointi vuonna 2020 oli suuri AVA15:n osalta, tämä ero on kuitenkin odotettavissa.



Kuva 10-19. Mallinnetut ja mitatut virtaustiedot mittauspisteestä AVA01.

Taulukko 10-4. Kertyneiden ja mallinnettujen virtaamien erot.

Mittauspiste	Ero kertyneessä virtaamassa
AVA14	12%
AVA14 NAM	-31%
AVA02	-18%
AVA15	-36%
AVA01	-18%

10.2.3.3 Pohjavesi

Kalibroinnin tavoitteena oli saavuttaa pohjavedestä havaintojen mukainen taso ja dynamiikka. Kalibroinnin perusteet ovat olleet rajalliset ja suurin osa pohjavesihavainnoista muodostuu pohjaveden pinnan tasoista avoimissa porausrei'issä, jotka on esitetty kuviossa Figur 4-14. Kuvan violetteja ja mustia pisteitä on käytetty mallin kalibroinnissa ja vihreitä pisteitä kalibroidun mallin testaamiseen. Useimmista putkista on vain yksittäisiä pohjaveden pinnan korkeuden luotauslukemia ja vain kolmesta putkesta, KGN13, KGN 41 ja KGN42, on olemassa jatkuvat aikasarjat, ei kuitenkaan koko kalibrointijaksolta.

Laskettuja pohjaveden pinnan korkeuksia on verrattu havaintoihin ja keskivirhe ja absoluuttinen keskivirhe on laskettu alla olevien yhtälöiden 3 ja 4 mukaisesti.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_t (q_{obs_t} - q_{sim_t}) \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_t (q_{obs_t} - q_{sim_t})^2 \quad (4)$$

ME = keskivirhe

MAE= absoluuttisen virheen keskivirhe

q_{obs_t} = havaittu pohjaveden pinnan korkeus ajankohtana t

q_{sim_t} = laskettu pohjaveden pinnan korkeus ajankohtana t

Pohjaveden pinnan korkeus alueilla KGN13 ja KGN42 sekä VWH0004, VWH0006 ja VWH0007 on esitetty kuviossa Figur 10-20. KGN 13:n dynamiikka vastaa suhteellisen hyvin havaittuja arvoja, kun taas pohjaveden pinnan korkeus on mallissa yleisesti liian korkea. KGN42:ssa saadaan keskimääräinen pinnan korkeus hyvin mukaan malliin, kun taas dynamiikkaa ei saada. VWH-putkissa on vain muutama talvikaudella mitattu luodattu arvo. Kuvaan on merkitty luotausten tulkittu taso, jotta niitä voidaan verrata laskettuihin arvoihin. VWH0004:n keskimääräinen taso noudattaa mallia erittäin hyvin ja se on vain noin puoli metriä luodattujen arvojen alapuolella. VWH0006:n ja VWH0007:n laskennalliset tasot ovat noin 2–3 m havaittujen arvojen yläpuolella.

On kuitenkin vaikeaa tehdä suoria vertailuja kallion avoimista porausrei'istä laskettujen ja havaittujen arvojen välillä. Nämä porausreiät ovat kalliossa olevia ilmanpaineisia reikiä ja mittaukset edustavat siksi yhtenäistä pohjavesitilannetta koko porausreiän pituudelta. Tämä merkitsee, että porausreiästä mitattu pohjaveden pinnan korkeus ei välttämättä kuvasta sitä pohjaveden pinnan tasoa, jossa paineanturi sijaitsee, vaan siihen vaikuttavat rakovyöhykkeet koko reiän pituudelta, koska veden annetaan virrata porausreikään koko reiän pituusmatkalta. Koska mallin porausreikää ei ole kuvattu avoimeksi ilmanpaineiseksi reiäksi, on havaintojen ja mallitulosten suora vertailu mallissa vallitsevaan pystyresoluutioon vaikeaa. Mallin pohjaveden pinnat edustavat kunkin laskentakerroksen keskellä olevaa tasoa ja niihin vaikuttavat itsessään nykyisen kerroksen kallion ominaisuudet. Tämä merkitsee sitä, että tietyn numeerisen kerroksen rakovyöhykkeen vaikutuksella on eristyneempi vaikutus mallituloksiin kuin rakovyöhykkeellä olisi, jos pohjaveden taso "puhkaisi" pohjaveden pinnan tason useissa laskentakerroksissa porausreikää pitkin kuvaamalla porausreiän alueena, jonka mallissa on ilmanpaineistus. Mallin nykyisellä resoluutiolla ei ole kohtuullista pyrkiä täydelliseen yhteensopivuuteen mallinnetun ja havaitun pohjaveden pinnan tasojen välillä. Painopisteen tulee olla myös kallion kokonaisdynamiikassa eri tasojen välisissä gradientteissa ja siinä, miten tämä heijastuu pohjaveden tasoon maakerroksissa ja kaivoksen sisään virtauksessa. Tästä kerrotaan tarkemmin kohdassa 11.1.3.



Kuva 10-20. Mallinnetut ja mitatut pohjaveden pinnat tietyille pohjavesiputkille.

Taulukossa Tabell 10-5 luetellaan absoluuttisen virheen, keskivirheen ja minimi- ja maksimiarvojen keskiarvot lasketuille ja havaituille tasoille kaikille kalibroinnissa käytetyille putkille. Poikkeuksena VWH0010:stä, joka sijaitsee AB-vyöhykkeen vedellä täyttyneestä kaivoksesta itään, ja VWH0002:sta, joka on suoraan sen yläpuolella (Figur 4-14), kaikkien putkien keskimääräinen virhe on noin 2,6 m. Kuten aiemmin mainittiin, on vaikea tehdä suoria vertailuja avoimista porausrei'istä tehtyjen havaintojen välillä kallio- ja mallilaskelmissa. Suurimmassa osassa putkia (KGN42, VWH0003, VWH0004 ja VWH0009) keskimääräinen virhe on kuitenkin vain noin 0,5 m. Useimmat kallion laskennalliset kerrokset ovat paksuudeltaan 50 m, joten keskimääräinen virhe on 2,6 m, jolloin oli

saavutettu kaikille putkille, kahta lukuun ottamatta, hyväksyttävä tulos koskien pohjaveden pintoja mallin yksittäisissä kohdissa. Nämä kohdat on sitten määritettävä suhteessa siihen, miltä alueen pohjavesitilanne näyttää kokonaisuudessaan. Tärkeitä huomioon otettavia näkökohtia ovat sisään- ja ulosvirtausmallit kallion eri tasoilla, vedenpinnan korkeus vedellä täyttyneessä kaivoksessa ja vuorovaikutus pintaveden kanssa. Tätä analysoidaan tarkemmin kohdassa 11.1.

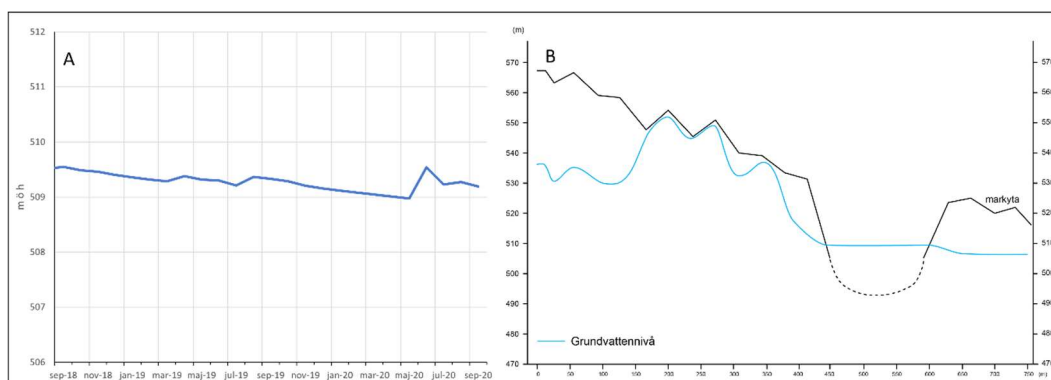
Taulukko 10-5.

Mallinnetut ja mitatut pohjaveden pinnan tasot sekä keskimääräinen absoluuttinen virhe (MAE) ja keskivirhe (ME) mallinnetuille tasoille.

Putki	Lasketut tasot					Huomiot		
	MAE (m)	ME (m)	Max (mmpy)	Min (mmpy)	Keski (mmpy)	Max (mmpy)	Min (mmpy)	Keski (mmpy)
KGN13	2,7	-2,7	540,7	539,8	540,4	539,1	536,8	537,7
KGN41	6,0	-6,0	544,0	540,2	541,3	536,9	527,9	534,7
KGN42	1,5	0,4	515,8	515,2	515,6	518,6	513,5	516,1
VWH0001	7,2	-7,2	537,7	537,5	537,7	531,1	529,9	530,5
VWH0002	15,2	-15,2	570,1	564,3	566,8	553,5	549,7	551,6
VWH0003	0,6	0,6	513,1	512,1	512,8	*	*	513,4
VWH0004	0,5	0,5	510,3	509,5	510,1	*	*	510,6
VWH0006	2,7	-2,7	527,2	526,2	526,9	524,5	523,8	524,2
VWH0007	2,2	-2,2	510,2	508,4	509,0	507,0	506,7	506,9
VWH0009	0,5	-0,5	518,1	517,0	517,5	517,1	516,9	517,0
VWH0010	21,8	-21,8	545,7	543,5	544,4	524,2	520,9	522,5

* Putkien VWH0003 ja VWH0004 osalta putken yläpinnan tasoa ei ole mitattu, mutta on olemassa tietoja, joiden perusteella pohjaveden pinnan taso on maanpinnan tasolla.

Tärkeä osa pohjaveden pinnan tasojen kalibroinnissa on ollut myös oikean vedenpinnan tason saavuttaminen A-vyöhykkeellä olemassa olevan veden täyttämän kaivoksen sortuneessa osassa. Tässä osassa vapaa vedenpinta on näkyvässä ja avoimena ilmakehän suuntaan. Sortumariskin vuoksi "järven" tarkkaa tasoa ei ole voitu mitata, mutta vedenpinnan tasoksi tässä kaivoksen osassa (ks. Figur 1-1) on arvioitu olevan noin 510 m merenpinnan yläpuolella (Nordquist 2020). Kuvassa Figur 10-21 esitetään aikasarja kaivoksen sortuneen osan vedenpinnan korkeudesta kahdelta viimeiseltä kalibroitavuodelta sekä tilannekuva pohjaveden pinnasta profiilia pitkin lounaaseen sortuneen kaivoksen varrelle ulottuvalta alueelta koilliseen suuntaan. Keskimääräinen taso ajanjaksolla syyskuu 2018 - syyskuu 2020 on mallissa 509,4 m, maksimi 509,6 ja minimi 509,0 m. Sortuneesta osasta koilliseen maa kallistuu jyrkästi, minkä jälkeen pohjavesi virtaa ns. kaivospurossa, jonka virtauksesta suurin osa koostuu pohjavedestä. Kaivoksen sortuneen osan vedenpinnan korkeudesta ei ole tehty tarkkaa mittausta, joten 509,4 metrin keskimääräistä vedenkorkeutta pidetään havaittujen arvojen kanssa hyvin yhdenmukaisena tuloksena. Suurin osa kaivoksen yläpuolella olevien porausreikien havainnoista osoittaa korkeampia pintalukemia, noin 525 m merenpinnan yläpuolella. (Mark & Miljö Hydrosense 2011b). Tämä osoittaa, että hydraulinen kosketus on rajoittunut joissakin osissa kaivoksen alueella. Myös mallissa näkyy vaihtelevia pohjaveden pinnan korkeuksia kaivoksen alueen yläpuolella. Korkeus on useimmissa paikoissa yli 510 metriä. Sortuneen osan vedenpinnan korkeus on siksi nähtävä minimitasona.



Kuva 10-21. Aikasarja laskennallisesta vedenpinnasta kaivoksen sortuneessa osassa (A) sekä profiili, joka näyttää laskennallisen vapaan pohjaveden pinnan sijainnin alueelta noin 400 m lounaaseen kaivoksesta alueelle 150 m koilliseen kaivoksesta (B).

Kalibroinnin viimeinen vaihe oli tarkistaa, miten malli reagoi olemassa olevan kaivoksen tyhjennykseen A-vyöhykkeellä suhteessa laskennalliseen pohjaveden pinnan alenemiseen ja kaivoksen sisään virtaavaan pohjaveteen. Kaivoksen tyhjentämistä on simuloitu siten, että niin sanottu MIKE URBAN -malli aktivoidaan ja liitetään pohjavesimalliin (ks. kohta 3.4). MIKE URBANissa kaivoksen geometriaa kuvataan joukkona putkilinjoja, joissa vallitsee ilmakehän paine, ja veden annetaan virrata sisään ympäröivän kallion ja kaivoksen välisen paine-eron ja ympäröivän kallion ominaisuuksien perusteella. Tässä simulaatiossa ei ole tapahtunut kaivoksen asteittaista tyhjennystä, vaan koko kaivos tyhjenetään suoraan mallissa ja simulaatio on jatkunut, kunnes mallissa esiintyy semistationääriset olosuhteet eli vuosivaihtelu pysähtyy ja vain vuoden sisäinen pinta- ja pohjaveden dynamiikan vaihtelu heijastuu malliin. Tässä sijainnissa ympäröivän kallion vedenjohtavuus rajoittaa sisäänvirtausta enemmän kuin varastointiominaisuudet. Vertaamalla laskettuja pohjavesivirtoja kaivoksen syöttövesimäärien havaintoihin kaivoksen ollessa käytössä voitiin tehdä arvio siitä, olivatko kallion ominaisuudet ja pohjaveden dynamiikka maan ja kallion välissä uskottavat.

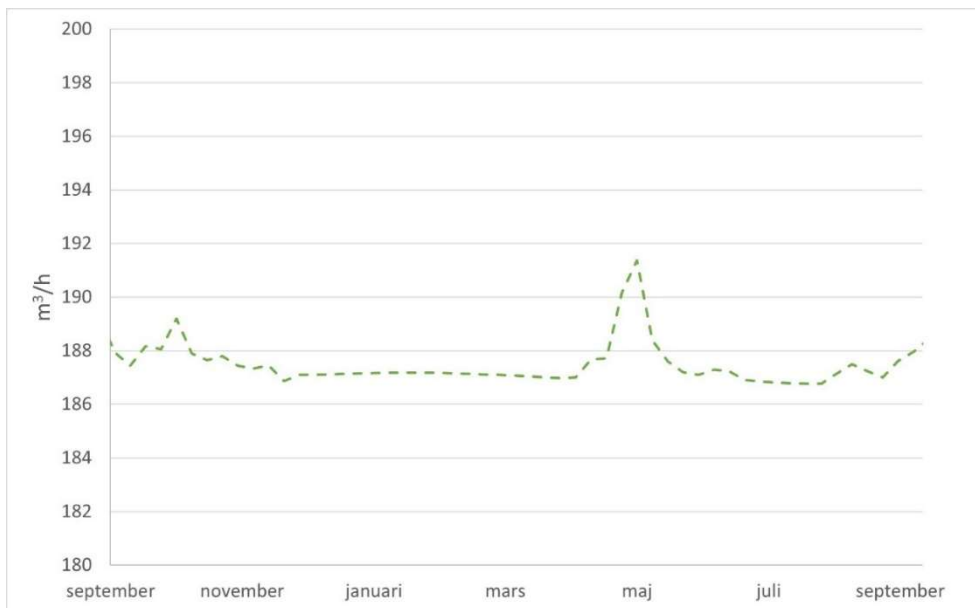
Kaivoksen ollessa käytössä vettä pumpattiin noin 150–200 m³/h. Kalibroidussa mallissa pumpatun veden määrä on keskimäärin 187 m³/h ja vaihtelee välillä 185–191 m³/h, ks. Figur 10-22. Tulovirtaama pienenee talvikauden alkuvaiheessa, suurenee sitten lumen sulamisjakson aikana ja on suhteellisen vakaa kesällä. Syysateiden aikana kaivokseen tapahtuvassa virtauksessa on havaittavissa tiettyä kasvua.

Pohjaveden vajoaminen, joka tapahtuu olemassa olevan maanalaisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä, esitetään kuviossa Figur 10-23. Se on laskettu tämänhetkisten olosuhteiden kalibroidusta mallista lasketun pohjaveden pinnan tason ja nykyisen kaivoksen kuivaamisen simulaatiosta lasketun pohjaveden pinnan tason välisen eron perusteella. Kahden lasketun pohjaveden pinnankorkeuden välisen eron vuotuinen keskiarvo esitetään kuviossa Figur 10-23. Tämä vaikutusalue vastaa myös odotettua vaikutusta vaiheen 2 lopussa.

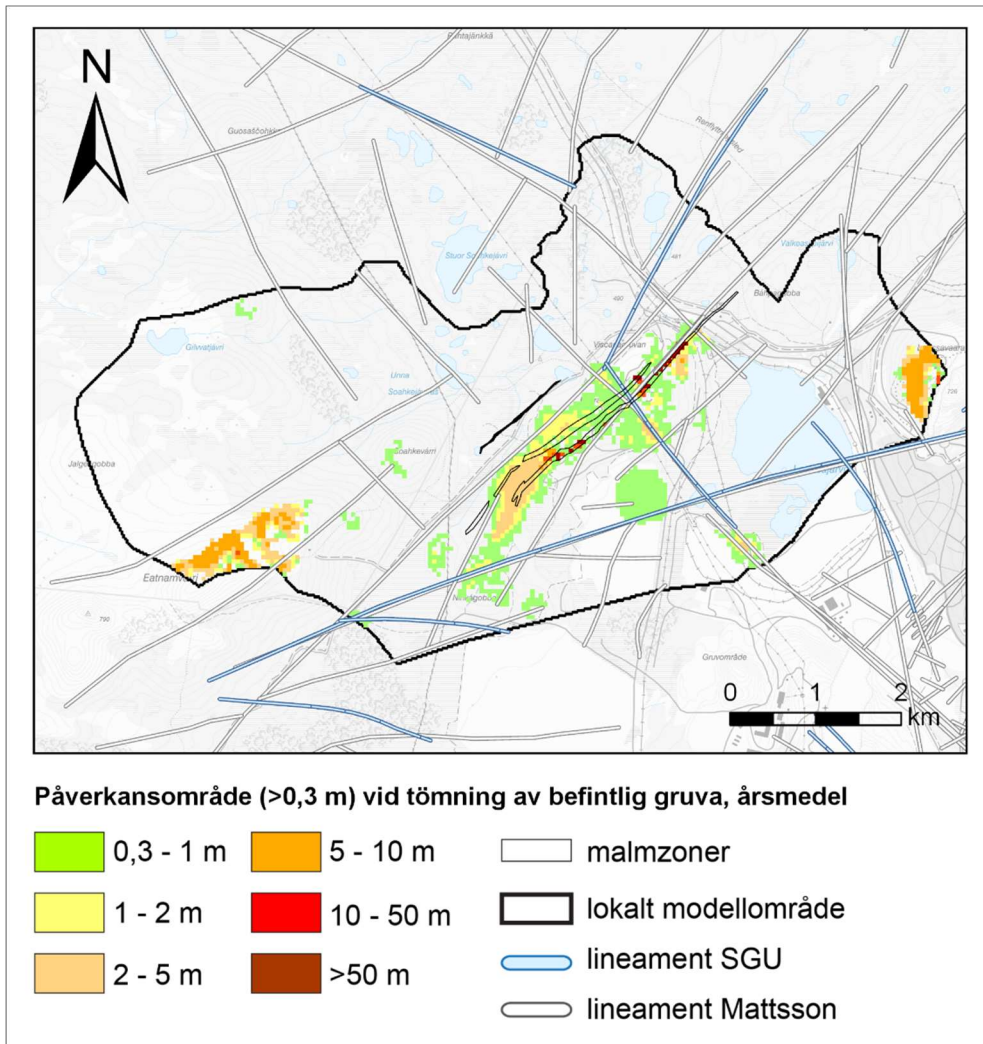
Havainnot pohjaveden pinnan alenemisesta kaivoksen ollessa toiminnassa osoittavat jopa 80 metrin alenemista kaivoksen lähialueella ja pinnan laskeminen päättyy kokonaan noin 300 metrin päässä kaivoksesta (Lindqvist 1993). Mallin tulokset käyvät hyvin yhteen näiden havaintojen kanssa. Jatkuva vedenpinnan aleneminen paikallisesti kaivoksen ympärillä ulottuu noin 300–350 metrin päähän kaivoksesta luoteeseen ja kaakkoon, Figur 10-23. Mallissa aleneminen leviää kuitenkin noin 600 metrin päähän etelään A- ja B-vyöhykkeen malmioista, mikä merkitsee vaikutusalueen suurempaa laajenemista, kuten Lindqvist (1993) toteaa. Lisäksi malliin syntyy useita laita-alueita, joissa alenemat sijaitsevat lähellä mallin reunaa. Kaivoksen toiminta-ajalta ei ole tietoja, jotka osoittaisivat, että nämä ylänköalueet olisivat olleet vaikutuksen alaisina Pohjaveden pinnan korkeudesta ei todennäköisesti myöskään ole tehty havaintoja näillä alueilla. Pohjaveden luonnollisia sisäänvirtausalueita muodostavat ylänköalueet ovat herkempiä pohjaveden valumiselle kalliioon kuin luonnolliset ulosvirtausalueet, koska näiden ylänköalueiden valuma-alue on hyvin rajallinen. Pohjaveden

pinnan tason aleneminen syvällä vaikuttaa siten suuremmin pohjaveden pinnan tasoon sisään- kuin ulosvirtausalueilla. Vaikka näillä ylänköalueilla tapahtuu kaiken todennäköisyyden mukaan tiettyä vaikutusta, pohjaveden pinnan alenemisen vaikutusta on todennäköisesti yliarvioitu, koska ylänköalueet ovat lähellä mallin reunaa. Alentumiset tulee nähdä myös seurauksena mallin rakentamistavasta, joka perustuu konservatiiviseen oletukseen kallion rakovyöhykkeistä. Jotta vaikutusta alueen pohjaveden pinnan tasoon ei aliarvioitaisi, mallissa oletetaan, että kaikki alueen lineamentit (Mattson 2021) ovat myös vettä johtavia rakenteita kalliossa. Tämä oletus johtaa pohjaveden alenneet pinnan korkeudet kalliossa, kaivoksessa ja paikallisesti sen ympärillä yliarvioidaan niiden laajuuden osalta näitä lineamentteja pitkin. Tämä vaikutus muodostuu erityisen selkeäksi ylänköalueilla, jotka sijaitsevat lähellä mallin reunaa. Luossajärven lounaispuolisen reunan lähellä sijaitsevalla alueella on myös vaikutusta pohjaveden pinnan tasoon kaivoksen tyhjennysvaiheessa. Tämä alue on myös mallin vettä johtavan rakenteen kanssa kosketuksissa oleva sisäänvirtausalue, minkä vuoksi herkkyys vaikutukselle syvällä on suurempi.

Kaiken kaikkiaan mallin tulokset testistä, kun olemassa oleva kaivos A-vyöhykkeellä tyhjenetään vedestä, voidaan tulkita niin, että malli kuvaa kaivoksen ja maaperässä ja kalliossa olevan pohjaveden keskinäistä vuorovaikutusta, koska lasketut sisäänvirtaukset ja pinnan laskeutuminen ovat samaa suuruusluokkaa havaittujen arvojen kanssa.



Kuva 10-22. Arvioitu sisäänvirtaus kaivokseen tyhjenettäessä sitä AB-vyöhykkeellä simuloituna normaalille vuodelle. Kaivoksen ollessa toiminnassa havaittiin 150–200 m³/h sisäänvirtaus, laskennallisen tulovirran keskiarvo hydrologiselle vuodelle 187 m³/h.



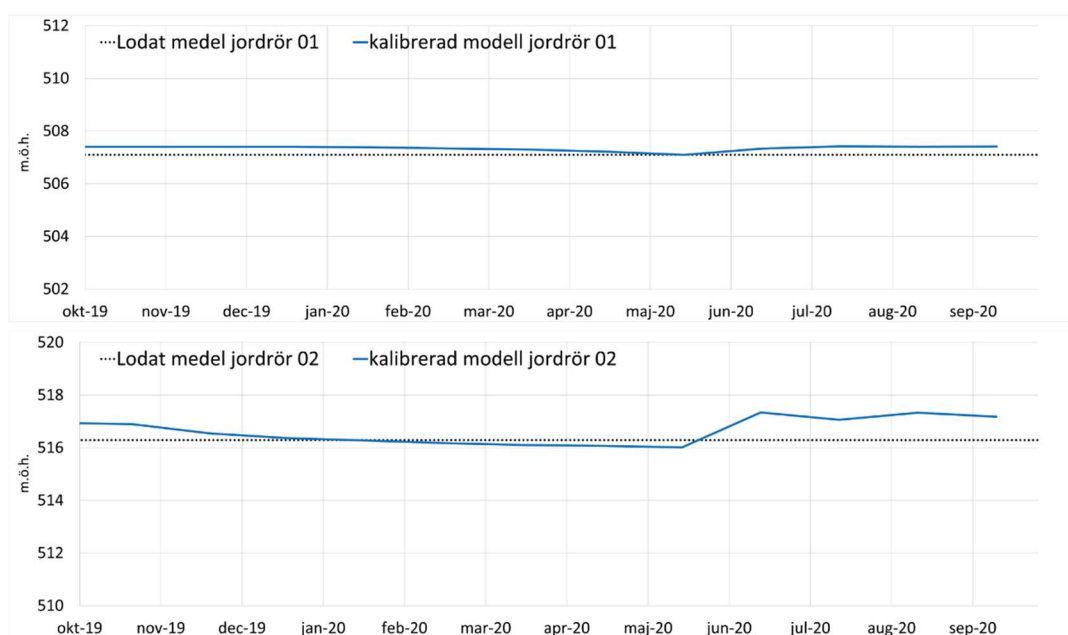
Kuva 10-23. Laskettu pohjaveden pinnankorkeuden laskeutumisen vuosikeskiarvo, kun AB-vyöhykkeen kaivos kuivatetaan. Alueet, joilla laskema on yli 30 cm, on merkitty karttaan. Kuvan vaikutusalue vastaa myös odotettua vaikutusta vaiheen 2 lopussa.

Jotta lopuksi voitaisiin testata ja arvioida, että malli antoi hyvän yhteensopivuuden jollekin muulle ajanjaksolle, verrattiin hydrologisen vuoden 2019/2020 laskettuja pohjaveden korkeuksia talven 2020/2021 aikana tehtyihin harvoin pohjavesihavaintoihin kallion- ja maaperän porausaukoissa. Mitattujen ja mallinnettujen arvojen välinen yhteensopivuus oli erittäin hyvä ja kaiken kaikkiaan parempi kuin kalibroinnissa käytetyillä putkilla (Tabell 10-6 ja Figur 10-24). Putki "Numeroimaton 56mm" sijaitsee korkealla sijaitsevalla märällä kosteikolla jossa oli tehty vain yksi talvikauden mittaus, kun mallia testattiin uudelle aikajaksolle. Ainoastaanjoulukuun ja helmikuun välisen ajanjakson mallitulokset on siksi poistettu mallista, jotta voidaan arvioida tämän putken mallin ja havainnon välistä yhteensopivuutta. Putket, joita ei käytetty kalibroinnin aikana, ovat kaikki maaperässä olevia putkia. Vaatimukset havaintojen ja simulointitulosten hyvälle yhteensopivuudelle maaperän pohjaveden pinnan korkeuksille ovat merkittävästi korkeammat kuin kallion avoimille porausrei'ille asetetut vaatimukset. Maaputkien nro 1–3 keskimääräinen virhe on 0,5 m. Tämä on hyväksyttävä virhe ja vahvistaa luottamuksen kalibroituun malliin, kun otetaan huomioon pohjavesiä koskevien havaintojen osalta käytettävissä oleva tietokanta.

Taulukko 10-6. Mallinnetut ja mitatut pohjaveden pinnan tasot sekä keskimääräinen absoluuttinen virhe (MAE) ja keskivirhe (ME) mallinnetuille tasoille.

Putki	Mallinnettu tieto			Mitattu tieto				
	MAE (m)	ME (m)	Max (mmpy)	Min (mmpy)	Keski (mmpy)	Max (mmpy)	Min (mmpy)	Keski (mmpy)
Maaputki 1	0,3	-0,3	507,4	507,1	507,3	507,7	506,7	507,1
Maaputki 2	0,4	-0,3	517,3	516,0	516,6	516,5	516,1	516,3
Maaputki 3	0,8	0,8	512,7	512,0	512,4	513,2	513,1	513,1
Ei-numeroitu 56 mm	0,3	-0,3	556,5	556,4	556,4	*	*	556,1

* Putkille "Ei numeroitu 56mm" on vain yksi mittausta, joka tehtiin talven aikana. Tämän putken mallista on siis otettu kuukausittaiset arvot joulukuusta helmikuuhun.



Kuva 10-24. Talvella 2020/2021 mallinnetuista ja mitatuista pohjaveden pinnan tasoista mallinnetut ja mitatut pohjaveden pinnan tasot.

11 Integroidun pinta- ja pohjavesimallinnuksen tulokset

11.1 Nykyhetken hydrologiset ja hydrogeologiset olosuhteet

Seuraavassa osiossa raportoidaan eri mallivuosien tulokset. Kalibroitu malli on simuloitu märille, normaaleille ja kuiville vuosille (ks. 4.2.2). Jokaiselta tyyppivuodelta raportoidaan tulokset tyyppivuodelta, jota edeltää normaali vuosi, eli kahden vuoden simulaatiot on tehty periaatteella normaali vuosi+normaali vuosi, normaali vuosi+kosteaa vuosi ja normaali vuosi+kuiva vuosi. Jokaisen skenaarion toinen vuosi on arvioitu.

11.1.1 Vesitase

Figur 11-1, Figur 11-2 ja Figur 11-3 esittävät vesitaseet koko paikalliselle mallialueelle hydrologisesti normaalille, kostealle ja kuivalle vuodelle. Luvut on laskettu vuosikeskiarvoina yksikkönä mm/vuosi normalisoituna mallialueelle. Figur 10-13 sisältää eri kohteita koskevat selitykset.

Normaalivuoden keskimääräinen sademäärä vuodessa on 753 mm. Kosteana vuotena se on 16 % korkeampi (877 mm) ja kuivana hieman alhaisempi (750 mm).

Sekä kosteina että kuivina vuosina haihtumisen kokonaismäärä on hieman suurempi kuin normaalivuosina (normaalivuosi 370 mm, kostea vuosi 376 mm (2 % enemmän) ja 387 mm kuiva vuosi (5 % enemmän)). Syy sille, miksei kokonaishaihtuminen vaihtelee suuresti kolmen tyyppivuoden välillä, on, että sama potentiaalinen haihtuminen (PET) ohjaa mallia kolmelle tyyppivuosisimulaatiolle. Tässä tutkimuksessa käytetyt standardiarvot PET:n määrittämiseksi SMHI:stä eivät ole riippuvaisia sademäärästä. PET:n laskenta voidaan tehdä useilla eri menetelmillä, joita ohjaavat joko lämpötila tai lämpötilan ja säteilyn tasapainon yhdistelmä. Näin ei kuitenkaan ole tehty tässä tutkimuksessa, joten PET:ssä ei ole eroa tyyppivuosien välillä.

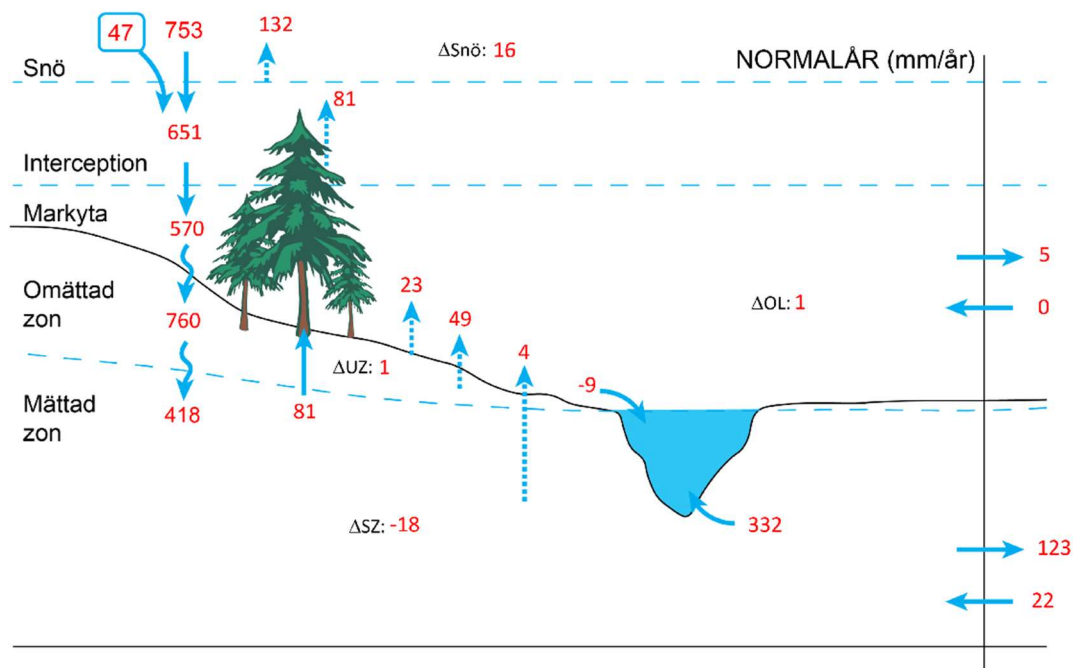
Normaalivuoden aikana vajaa puolet kokonaishaihtumisesta muodostuu kasvien interseptiosta ja transpiraatiosta, runsas kolmannes lumen sublimaatiosta ja runsas viidennes maaperästä ja avovesistä haihtumisesta. Kosteana vuonna jakauma on pääosin sama, mutta kuivana vuonna interseptio ja transpiraatio muodostavat suuremman osan (hieman yli puolet) ja sublimoituminen pienemmän osan (hieman yli neljänneksen). Absoluuttisina lukuina sublimaation vaihtelu on kuitenkin pientä, koska se vaihtelee välillä 12-16 mm. Sublimoitumisen väheneminen johtuu siitä, että sekä lumen määrä että lumisen jakso, jolloin sublimoitumista voi tapahtua, vaihtelee kolmena eri tyyppivuotena. Koska kokonaishaihtuminen ei ole kovin paljon suurempaa kosteana vuotena, pohjaveden muodostuminen kosteana vuotena on 24 % runsaampaa kuin normaalivuotena (kosteana vuotena 780 mm ja normaalivuotena 627 mm). Kuivana vuotena ero on yhtä suuri kuin sademäärän ero (4 % vähemmän, 599 mm).

Pohjaveden muodostuminen normaalivuoden aikana on runsaampaa kuin kalibroitajaksolla ja on määrältään 418 mm. Se kasvaa kosteana vuotena 543 mm:iin ja pienenee kuivana vuotena 384 mm:iin. Lisääntynyt pohjaveden muodostuminen kostean vuoden aikana lisää pintavalumista. Pintavalumisella tarkoitetaan tässä sitä pinta- ja pohjaveden määrää, joka poistuu alueelta vesistöjen kautta tai suoran valumisen kautta maanpintaa pitkin. Alueen vesistöihin virtaavan pohjaveden osuus on kosteana vuotena merkittävästi suurempi kuin normaalivuotena ja ulosvirtaus kasvaa 332 mm:stä 422 mm:iin. Pintavaluminen on kosteana vuotena 27 % runsaampaa ja kuivana vuotena vajaat 6 % vähäisempää kuin normaalivuotena. Normaalivuotena pintavalumisen kokonaismäärä on 328 mm, kosteana vuotena 414 mm ja kuivana vuotena 307 mm. Erot pohjaveden virtaamisessa reunan yli kolmen tyyppivuoden välillä ovat samaa suuruusluokkaa: 101 mm normaalivuotena, 126 mm kosteana vuotena (24% suurempi) ja 95 mm kuivana vuotena (6% pienempi).

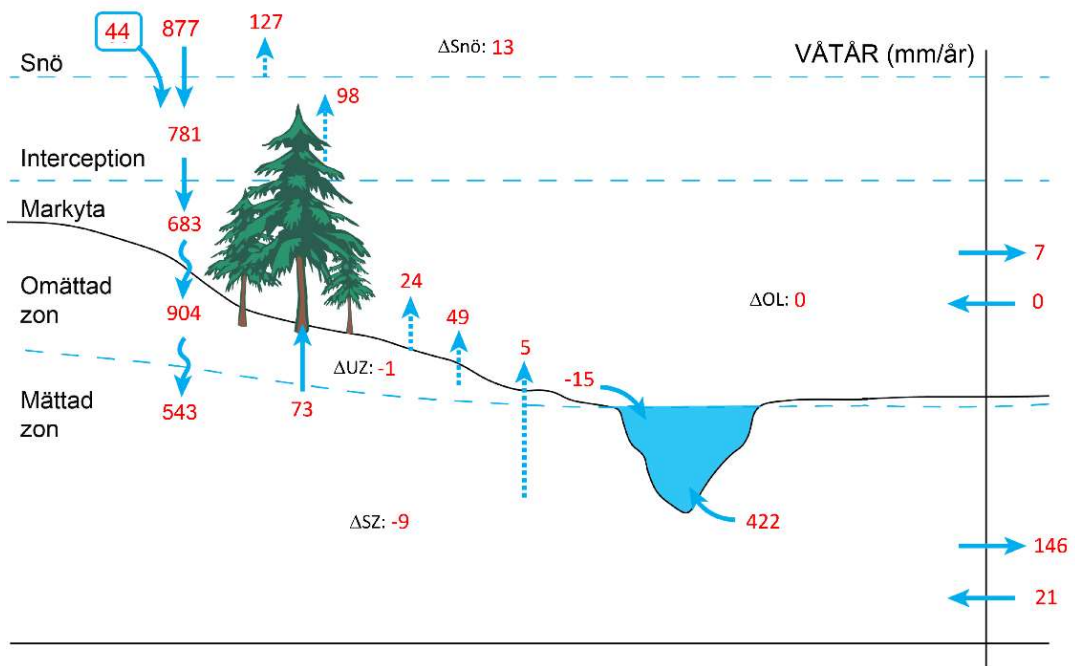
Vuoden aikana tapahtuu myös varaston muutos, joka on arvioitu vastaavalle tyyppivuodelle. Koska arvioituja vuosia edeltää aina normaali vuosi, ne heijastavat varastomuutosta, joka tapahtuu, kun normaalia vuotta seuraa vastaava tyyppivuosi. Jos näitä tyyppivuosia pyöräytettäisiin useana peräkkäisenä vuotena, varastomuutokset olisivat merkityksettömiä. Suurin muutos tapahtuu pohjavesivarastossa ja se pienenee normaalivuotena 18 mm, kosteana vuotena 9 mm ja kuivana 22 mm. Kyllästymättömällä vyöhykkeellä tapahtuu kolmessa tapauksessa pieniä, muutaman mm:n varastomuutoksia. Koska lumi kerääntyy tai sulaa juuri ennen hydrologisen vuoden taittumista, lumivarannossa on myös 12-16 mm muutos tyyppivuodesta riippuen.

Kokonaisominaisvaluma (pintaveden valuma + pohjaveden valuma) on normaalivuotena 428 mm, kosteana vuotena 540 mm ja kuivana 403 mm. Tämä antaa normaalin vuoden R/P-suhteeksi 0,57, joka on sama arvo kuin luvun 5 käsitteellisessä mallissa R/P-suhteelle tehty arvio. Kosteana vuoden vastaava arvo on 0,62 ja kuivan vuoden 0,54. Kuivana vuotena noin puolet sademäärästä haihtuu, kun taas hieman suurempi osa muodostaa pinta- ja pohjaveden valumia normaaleina ja kosteina vuosina.

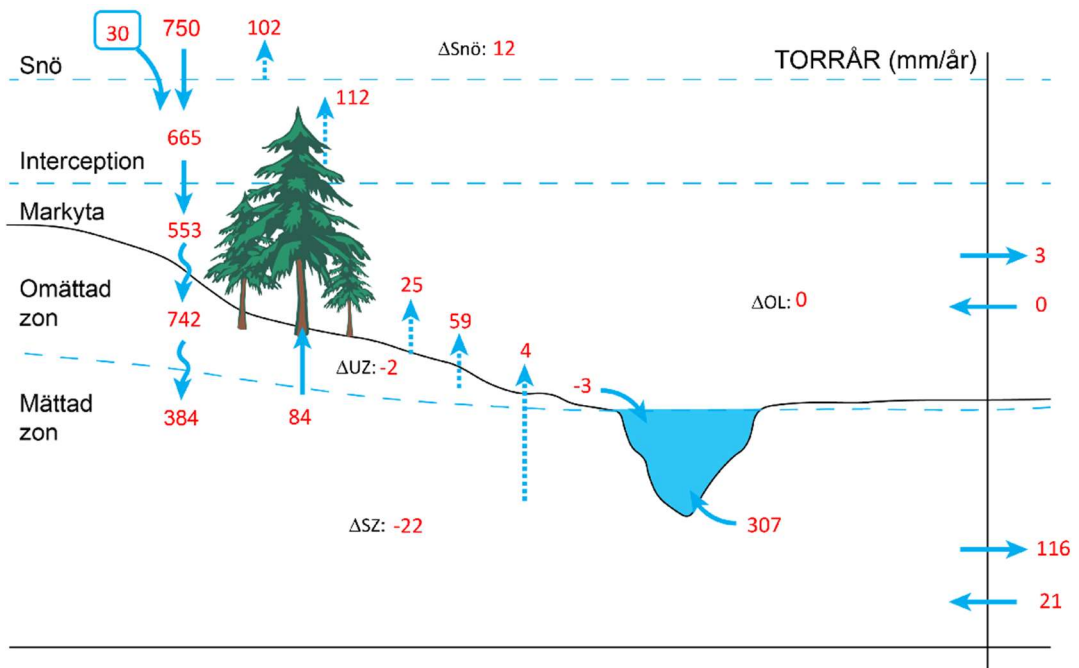
Laskettu kerääntynyt valuma alueen vesistössä kalibrointijaksolle, joka esitetään osiossa 10.2.3.2, on yleisesti ottaen alhaisempi kuin havaitut arvot. Tämä osoittaa, että mallissa esitetty haihtuminen voi olla yliarvioitua. Pienempi potentiaalinen kokonaishaihdunta (PET) vapauttaisi enemmän vettä valumaan. PET:n laskentamenetelmä, jossa lämpötila- ja/tai säteilytasapaino otetaan huomioon, voisi antaa paremman ja todennäköisesti alhaisemman arvion PET:stä.



Kuva 11-1. Vesitase mm/vuosi mallinnetun normaalivuoden aikana.



Kuva 11-2. Vesitase mm/vuosi mallinnetun kostean vuoden aikana.



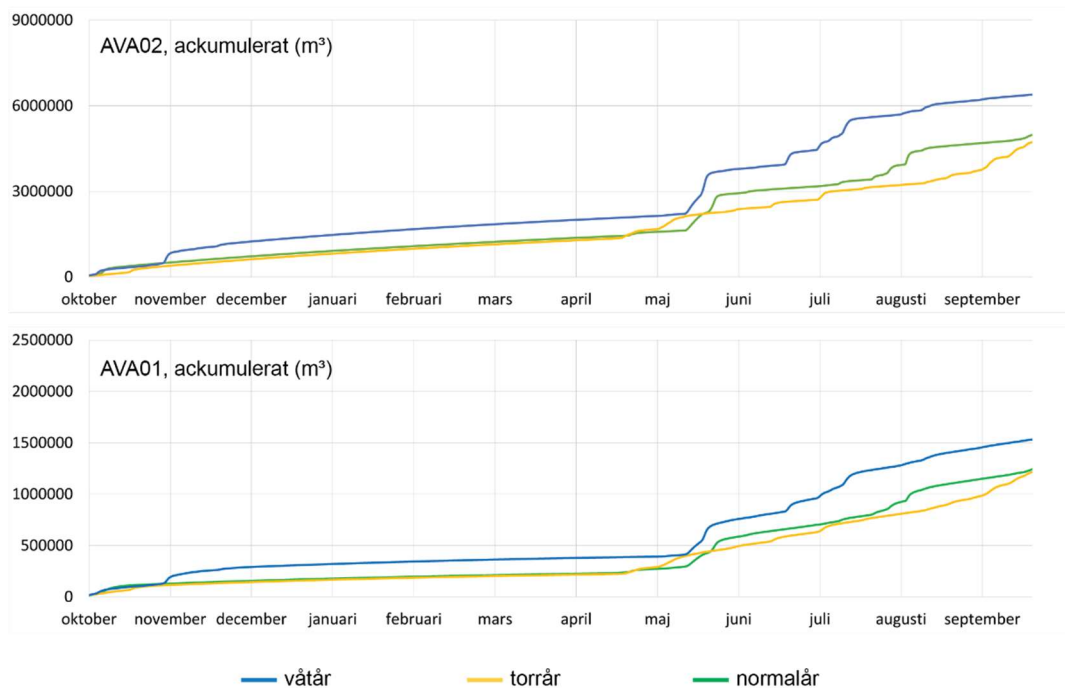
Kuva 11-3. Vesitase mm/vuosi mallinnetun kuivan vuoden aikana.

11.1.2 Vesistöjen virtaamat ja vedenpintojen tasot

Tavalliseen vuoteen verrattuna kostean vuoden aikana kertyvä kokonaisvirtaama kasvaa Pahtajoen järjestelmässä (AVA14 ja AVA02) noin 31 % ja Tvillingtjärn-järvistä alavirtaan AVA01:ssä 19 %. Kuivana vuotena virtaama on pienempi, vaikka ero normaalivuoteen verrattuna ei ole yhtä suuri kuin kosteana vuotena. Kertynyt kokonaisvirtaama pienenee noin 5 % Pahtajoen järjestelmässä ja noin 3 % AVA01:ssä (Tabell 11-1, Figur 11-4).

Taulukko 11-1. Kertynyt virtaama (miljoonaa m³) eri mittauspisteissä normaalina, kosteana ja kuivana vuotena.

Mittauspiste	Kertynyt virtaama (Mm ³)		
	Normaalivuosi	Kosteavuosi	Kuiva vuosi
AVA14	6,6	8,5	6,3
AVA02	7,4	9,5	7,0
AVA15	0,1	0,1	0,1
AVA01	1,5	1,8	1,5



Kuva 11-4. Kertyneet virtaamat mallinnettuina normaaleina, kosteina ja kuivina vuosina mittauspisteissä AVA02 ja AVA01.

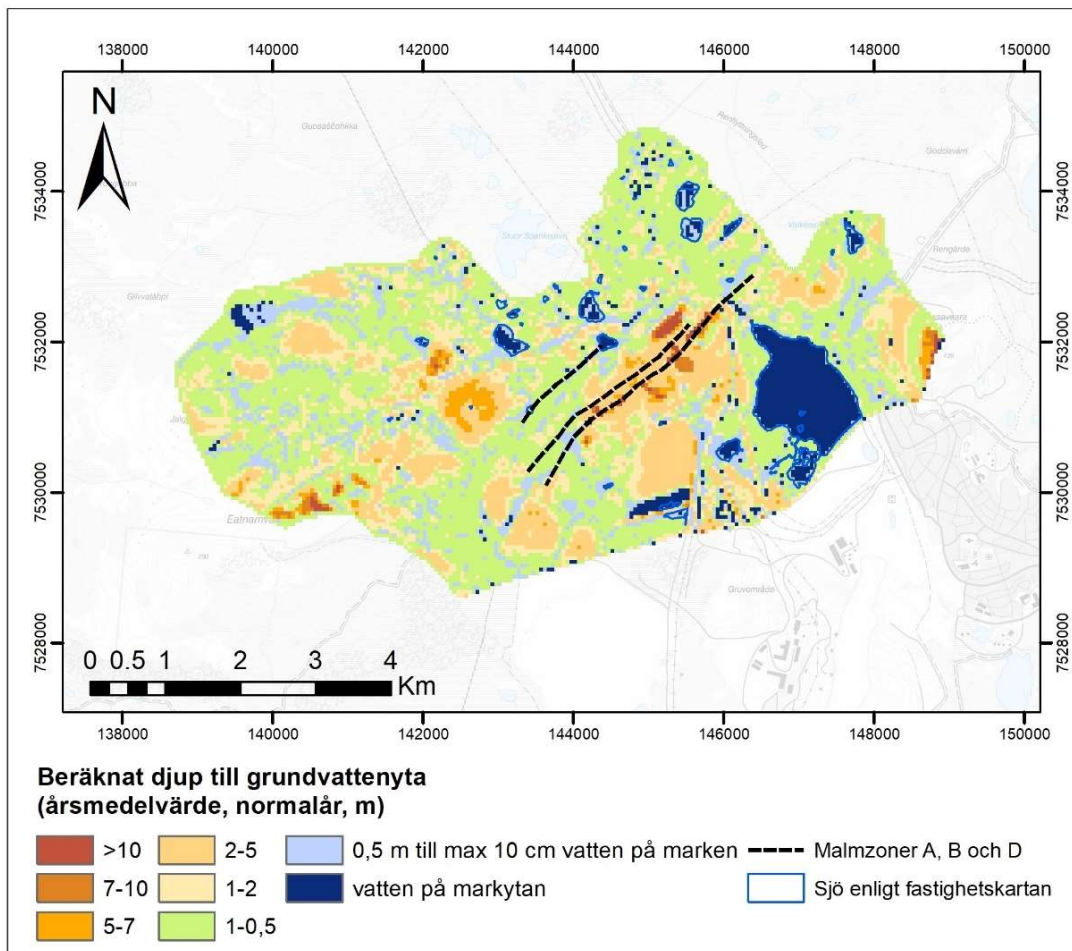
11.1.3 Pohjavesi

Normaalin vuoden pohjaveden pinnan tason keskiarvo esitetään kuviossa Figur 11-5; koko alueen keskiarvosyvyys on 1,4 m. Suurin syvyys pohjaveden pintaan on veden täyttämän kaivoksen ympärillä AB-vyöhykkeellä, jolla se on paikallisesti noin 20–40 m. Kaivosalueen ulkopuolella pohjaveden pinta noudattelee yleisesti ottaen topografiaa niin, että pohjavesi on syvemmällä paikallisilla ylängöillä ja lähempänä pintaa alueen alankoalueilla. Kuvaan Figur 11-5 on merkitty myös alueen järvet. Pintavesien (eli järvien) laskennalliset alat osuvat hyvin yhteen kartoitettujen järvien kanssa.

Ylänköalueilla, joilla näkyvissä oleva kallio on kosketuksissa lineamenttiin joka vuorostaan koskettaa veden täyttämää kaivosta, pohjaveden pinta on suhteellisen syvällä. Mallialueen länsiosassa Eatnamvarrin ympäristössä ja idässä mallireunan läheisyydessä sijaitsevassa Luossavaaran ympäristössä lasketut pohjaveden pinnan syvyydet ovat välillä 7–10 m ja paikallisesti yli 10 m. Luossavaaran syvällä olevat pohjaveden pinnat ovat yhtenevät läheisten porausreikien havaintojen kanssa (Geosigma/Intera 2013; Geosigma 2018). Eatnamvarrin porausrei'istä ei kuitenkaan ole tehty havaintoja, minkä vuoksi laskennalliset suuret pohjaveden syvyydet tällä alueella ovat yhteydessä suurempiin epävarmuustekijöihin,

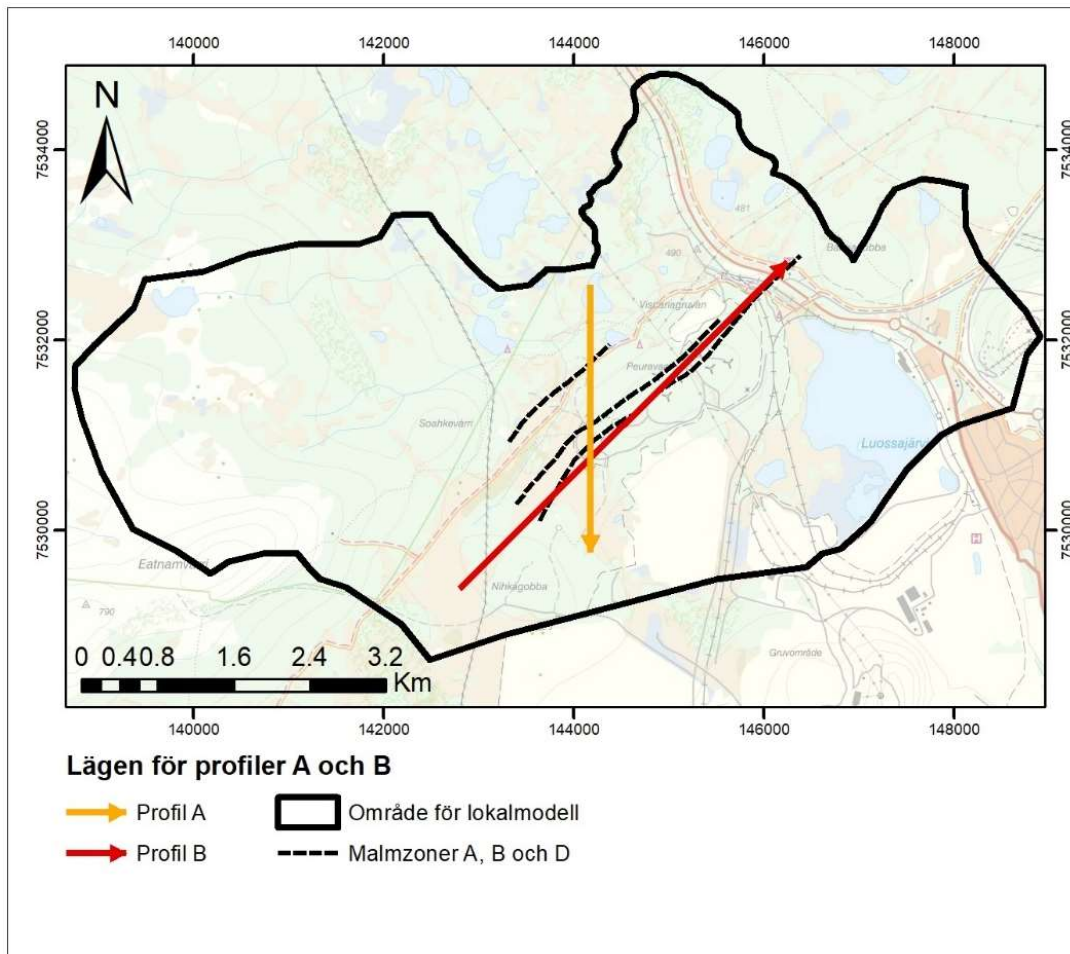
jotka liittyvät kallion parametrintiin. Oletamus, että mallin kaikkien lineamenttien oletetaan olevan vettä johtavia, voi johtaa siihen, että A-vyöhykkeen nykyinen vedellä täytynyt kaivos aiheuttaa mallissa veden pohjan alenemisen yliarviointia. Lisäksi mallireunan lähellä Luossajärven lounaispuolella olevalla alueella on suhteellisen suuria syvyyksiä pohjaveden pintaan laskennallisilla arvoilla noin 5 metrin syvyydessä. Alueeseen vaikuttavat erilaiset vettä pois johtavat toiminnot ja salaojitus teiden ja rautatien ympärillä, ja pohjaveden pinnan voidaan olettaa olevan syvemmällä kuin luonnollisissa olosuhteissa. Alueen laskettuihin pohjaveden syvyyksiin liittyy kuitenkin epävarmuutta, koska tältä alueelta ei ole paikallisia havaintoja.

Erilaiset tyyppivuodet eivät merkittävästi vaikuta pohjaveden pinnan tason vuosikeskiarvoon. Sama keskiarvo on laskettu normaaleille ja kuiville vuosille, kun taas märkinä vuosina pohjaveden pinta on jonkin verran lähempänä pintaa vuosikeskiarvon ollessa 1,3 m.

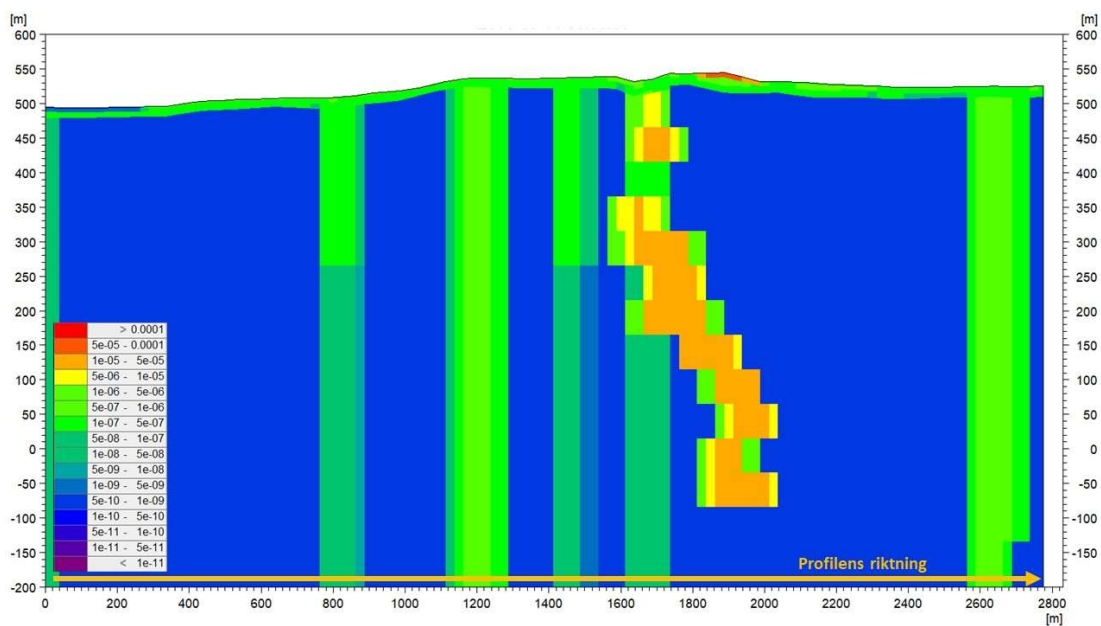


Kuva 11-5. Normaalille vuodelle laskettu keskimääräinen pohjaveden pinnan korkeus.

Figur 11-6 näyttää sijainnit kahdelle profiilille, joille on esitetty lasketut tulokset sekä pohjaveden pinnan sijainnin että pohjaveden tasojen osalta eri syvyyksillä kalliolla. Nuoli näyttää, mihin suuntaan profiilit on piirretty. Profiili A on piirretty pohjoisesta etelään, kun taas profiili B on piirretty lounaasta koilliseen. Figur 11-7 näyttää mallissa asetetut pystysuoran hydraulisen johtavuuden arvot (K_v) profiilia A pitkin. Ylinnä näkyvät maakerrokset, joiden K_v -arvot ovat korkeammat kuin kalliolla. Maakerrosten vasemmalla ääreläidalla näkyy sininen alue, joka on järven sedimenttiä sen järven alla, josta profiili alkaa, noin 1700 metrin korkeudessa kaivoksen yläpuolella on sortumavyöhyke ja noin 1900-2000 metrin kohdalla näkyy pieni kallioharjanne, jonka johtavuus on korkea. Laaja oranssinvärinen alue on nykyinen kaivos, jossa on kaivoskäytäviä ja purettua malmia. Vihreät pystyvyöhykkeet ovat muodonmuutosvyöhykkeitä.

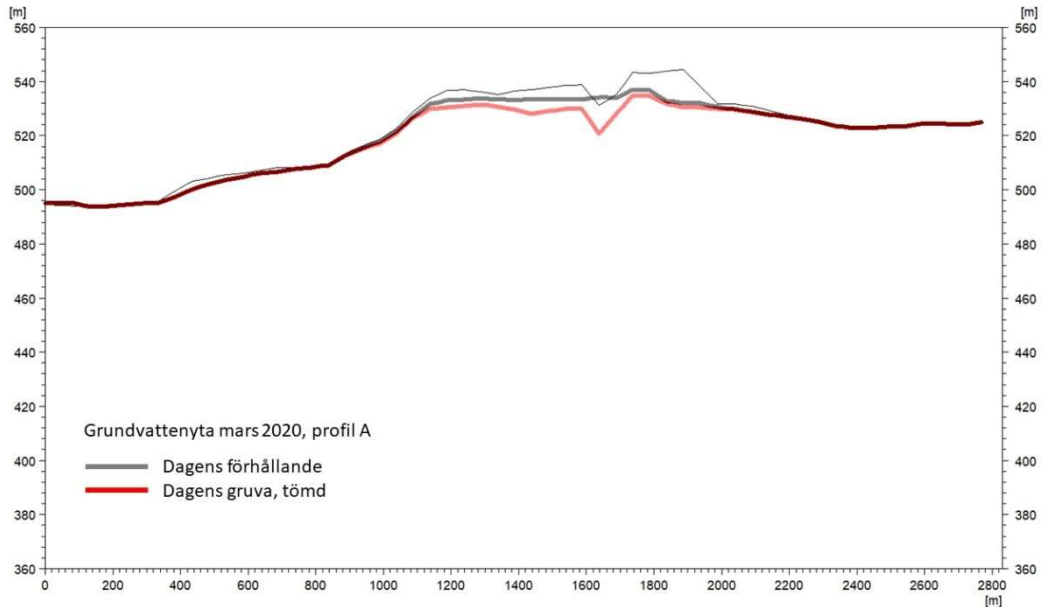


Kuva 11-6. Profilit, jolle esitetään laskennalliset pohjaveden pinnan tasot kalliassa ja laskennallisen vapaan pohjaveden pinnan sijainti sekä tämänhetkisten olosuhteiden että tulevien kaivosten osalta.



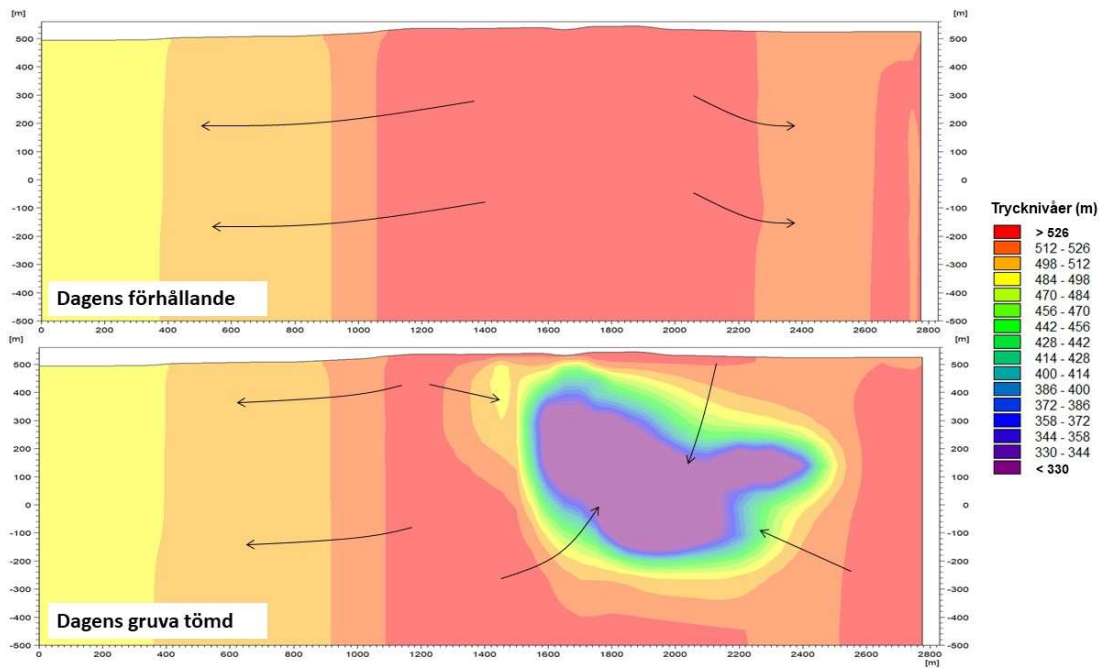
Kuva 11-7. Pystysuuntainen hydraulinen johtavuus K_v , profiilia A pitkin Figur 11-6:n mukaisesti.

Figur 11-8 osoittaa pohjaveden pinnan sijainnin maaliskuussa eli alhaisen pinnankorkeuden aikana ennen lumen sulamiskautta profiilia A pitkin sekä tämänhetkisissä olosuhteissa (harmaa viiva) että tapauksessa, jossa nykyinen kaivos on tyhjennetty vedestä (punainen viiva). Tämänhetkinen pohjaveden pinta on profiilia pitkin suhteellisen lähellä maanpintaa. Alhaisin taso näkyy ylhäällä harjanteella, joka sijaitsee hieman sortuma-alueen eteläpuolella. Nykyisen kaivoksen tyhjennyksen jälkeiset pinnan tasot vaihtelevat vain ylhäällä harjanteella ja suurimmillaan sortuma-alueella, jossa erittäin johtava kaivosvyöhyke sijaitsee.



Kuva 11-8. Pohjaveden pinnan sijainti maaliskuussa 2020 profiilia A pitkin Figur 11-6:n mukaisesti. Tummanharmaa viiva osoittaa pohjaveden pinnan sijainnin tämänhetkisissä olosuhteissa ja punainen viiva osoittaa vastaavasti nykyisen kaivoksen vedestä tyhjennettynä.

Figur 11-9 näyttää myös pohjaveden pinnan tasot kallion eri laskentakerroksissa profiilia A pitkin Figur 11-6:n mukaisesti, mutta ne on esitetty ruudukkoarvoina viivojen sijasta. Ylempi kuvio esittää pohjaveden pinnan tämänhetkisissä olosuhteissa ja alemmassa kuviossa näkyy pinta kaivoksen tyhjennyksen jälkeen. Nuolet osoittavat kaaviomuotoisesti nykyisen profiilin kokonaisvirtauskuvion. Tämänhetkisissä olosuhteissa sisäänvirtaus tapahtuu kuvion keskiosassa olevalla korkeudella ja vesi virtaa sitten kohti alempana sijaitsevia alueita ulos sivusuuntaan. Nykyisen kaivoksen tyhjennyksen jälkeen virtauskuvio kaivoksen ympärillä muuttuu, kuten Figur 11-9:n alaosassa olevat nuolet osoittavat.



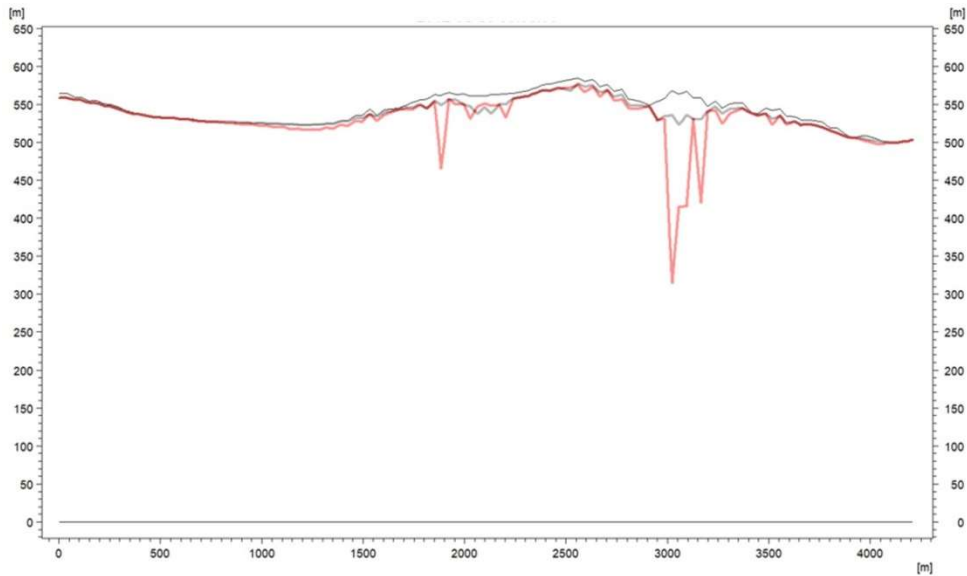
Kuva 11-9. Lasketut pohjaveden pinnan tasot eri syvyyksillä kalliosta profiilia A pitkin Figur 11-6:n mukaisesti. Ylempi kuvio esittää lasketut arvot tämänhetkisisä olosuhteissa ja alemmassa kuviossa arvot näkyvät nykyisen kaivoksen tyhjennyksen jälkeen.

Figur 11-10 näyttää pystysuuntaisen hydraulisen johtavuuden profiilia B pitkin Figur 11-6:n mukaisesti. Samalla tavoin kuin profiilissa A kuviossa Figur 11-7 näkyvät kaivoskäytävät ja tyhjennetty malmi selkeästi. Aikaisemman kaivosvyöhykkeen eteläosassa kaivos ei kohoa maanpinnan tasolle vaan sijaitsee noin 200 m maan alla.

Figur 11-11 Näyttää pohjaveden pinnan sijainnin maaliskuussa profiilia B pitkin Figur 11-6:n mukaisesti. Tumma paksu viiva näyttää pohjaveden tämänhetkisten olosuhteiden mukaan ja punainen viiva näyttää pohjaveden pinnan sijainnin profiilia pitkin nykyisen kaivoksen tyhjennyksen jälkeen. Näiden kahden käyrän välinen ero on pieni ja ero on havaittavissa ennen kaikkea erittäin johtavilla kaivosalueilla tai niiden yläpuolella.

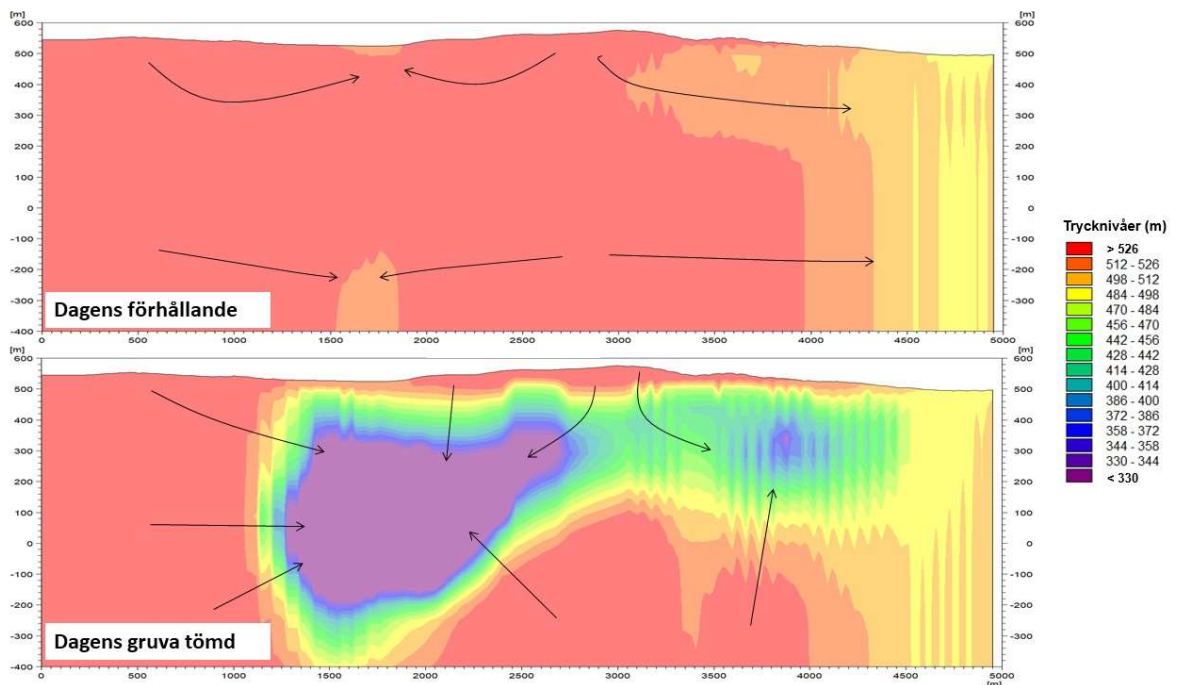


Kuva 11-10. Pystysuuntainen hydraulinen johtavuus K_v profiilia B pitkin Figur 11-6:n mukaisesti.



Kuva 11-11. Pohjaveden pinnan sijainti maaliskuussa profiilia B pitkin Figur 11-6:n mukaisesti. Tumma viiva osoittaa pohjaveden pinnan sijainnin tämänhetkisisissä olosuhteissa ja punainen viiva osoittaa vastaavasti pohjaveden pinnan sijainnin nykyisen kaivoksen ollessa vedestä tyhjennettynä.

Figur 11-12 näyttää kokonaisvirtauskuviota profiilia B pitkin Figur 11-6:n mukaisesti. Kuvan yläosassa on esitetty pohjaveden pinnan korkeudet ja virtauskuviot tämänhetkisisissä olosuhteissa ja kuvan alaosassa vastaavat korkeudet tilanteessa, jolloin nykyinen kaivos on tyhjennetty. Kaivoksen tyhjennys aiheuttaa ilmakehän paineen kaivoskäytäviin, mikä muuttaa kaivosalueen yhteydessä olevaa virtauskuviota.



Kuva 11-12. Lasketut pohjaveden pinnan tasot kalliosta profiilia B pitkin Figur 11-6:n mukaisesti. Ylemmässä kuviossa näkyvät pohjaveden pinnan tasot ja yleiset virtauskuviot tämänhetkisisissä olosuhteissa. Alempi kuvio esittää vastaavaa tilannetta, jossa nykyinen kaivos on tyhjennetty vedestä.

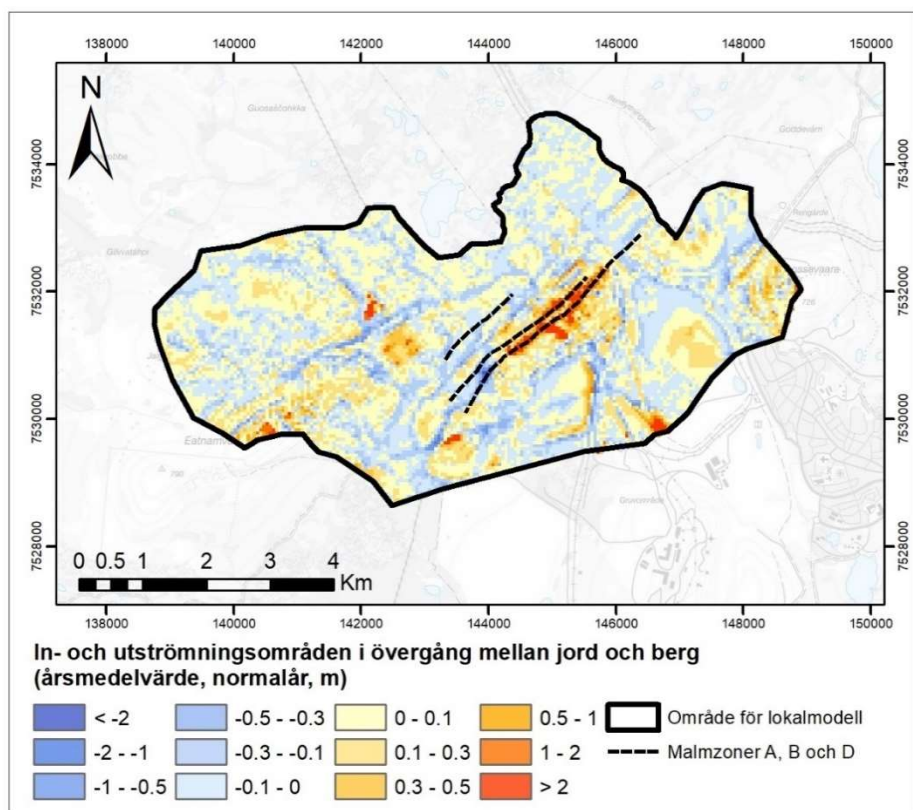
Luonnossa on sekä alueita, joilla pohjavesi virtaa syvemälle eli vedellä on alaspäin suuntautuva kaltevuus, että alueita, joilla pohjavesi virtaa ylöspäin eli vedellä on ylöspäin

suuntautuva kaltevuus. Näiden alueiden malli voi siirtyä syvyyden mukaan. Useimmiten kuvio on lähellä maan pintaa pienimuotoisempi, kun paikalliset ylängöt ja alangot vaikuttavat sisään- ja ulosvirtaukseen, kun taas syvemmällä kuvio muuttuu suuremmaksi, ja siihen vaikuttaa suurimittakaavainen topografia. Figur 11-13 näyttää kartan mallilasketuista tulo- ja ulosvirtausalueista maaperän ja kallion välisessä siirtymäkohdassa, esitettynä normaalin vuoden vuosikeskiarvona. Pinta-alat lasketaan vähentämällä pohjaveden tason korkeus kahdessa vierekkäisessä laskentakerroksessa ja asteikko osoittaa eron suuruuden (m). Mitä vahvempi väri, sitä voimakkaampi kaltevuus on. Luonnollisessa järjestelmässä ulosvirtausalueet ovat yleensä samat kuin alankoalueet, kun taas huiput ovat yleensä sisäänvirtausalueita. Figur 11-13 esittää ulosvirtausalueet sinertävillä väreillä ja sisäänvirtausalueet keltapunaisella asteikolla. Monet ulosvirtausalueet liittyvät vesistöihin, kun sisäänvirtausalueet liittyvät ylänköihin.

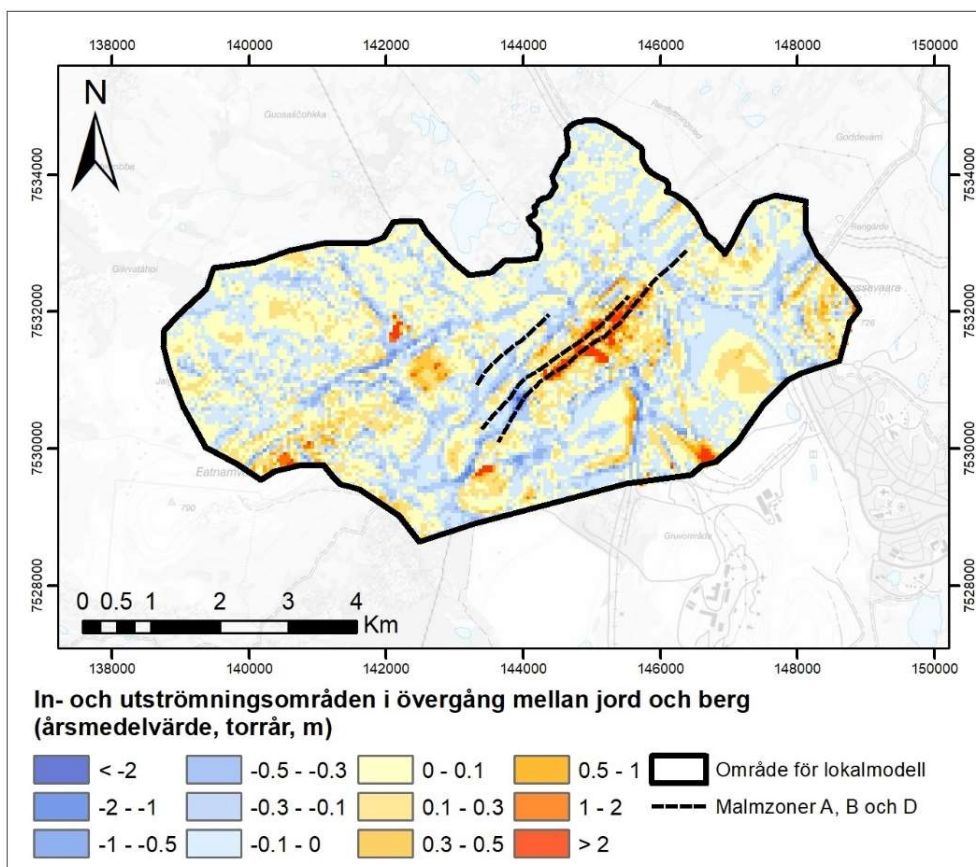
Figur 11-14 näyttää lasketut tulo- ja ulosvirtausalueet maa-kivisiirtymässä määritellylle kuivalle vuodelle ja Figur 11-15 näyttää vastaavat arvot määritellylle kostealle vuodelle. Samalla tavalla kuin Figur 11-13:ssa esitetään laskettu vuosikeskiarvo. Vuosikeskiarvon erot kolmen tyyppivuoden välillä sisään- ja ulosvirtauskuvion osalta ovat pienet.

Figur 11-16 näyttää laskennalliset sisään- ja ulosvirtausalueet normaalina vuotena kalliossa n. 490 m merenpinnan yläpuolella. Verrattuna maaperän ja kallion välisen siirtymäkohdan lukuihin kallion kuvio tällä tasolla erottuu suuremmilla kaltevuuksilla ja laajemmalla mittakaavalla. Nykyisen kaivoksen (AB-vyöhyke) yläpuolella on selkeä sisäänvirtausalue, jonka kaltevuus on voimakkaasti alaspäin suuntautuva. Jos kalliossa mennään vielä 200 m alaspäin, tasolle 290 m merenpinnan yläpuolella, saadaan Figur 11-17:n mukainen sisään- ja ulosvirtauskuvio. Tällä tasolla kaltevuudet pienenevät hieman ja jotkin 490 metrin korkeudella merenpinnan yläpuolella havaitut sisäänvirtausalueet eli alaspäin kaltevat alueet ovat puolestaan ulosvirtausalueita, eli alueita, joilla on ylöspäin suuntautuva kaltevuus. Tämä näkyy erityisen selvästi nykyisen kaivoksen ympäristössä AB-vyöhykkeellä.

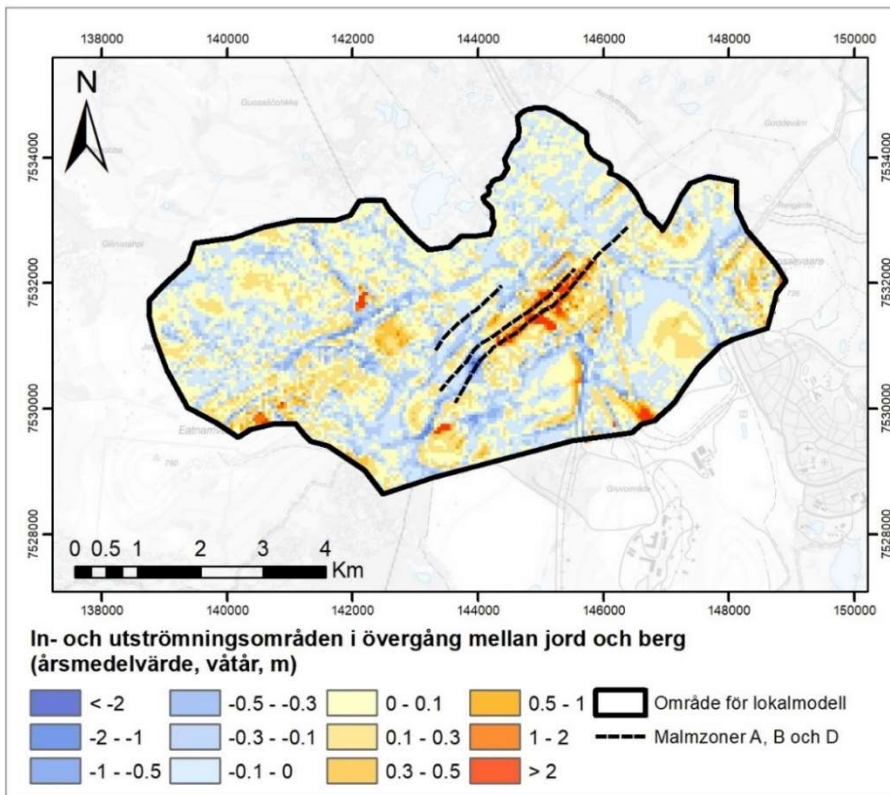
Voidaan todeta, että kaksi ylänköaluetta, joilla pohjaveden pinta on suhteellisen syvällä sekä alue teiden ja rautateiden ympärillä Luossajärvestä lounaaseen, jota käsiteltiin Figur 11-5:n yhteydessä, ovat selkeitä sisäänvirtausalueita sekä maan ja kallion välisessä siirtymäkohdassa että tasolla 490 m merenpinnan yläpuolella kalliossa kaikkina tyyppivuosina. Alempana kalliossa kaivoksen tason alapuolella Etnamvaaran ja Luossavaaran korkeusalueilla kaltevuus suuntautuu ylöspäin. Luossajärvestä lounaaseen sijaitsevalla reunalla oleva alue on kuitenkin vahva sisäänvirtausalue myös syvemmällä kalliossa, mikä viittaa siihen, että Kiirunavaaran kaivoksella on vaikutusta tälle alueelle ja reunalle, jossa on määritetty Kiirunavaaran kaivoksen vaikutuksen huomioon ottaminen.



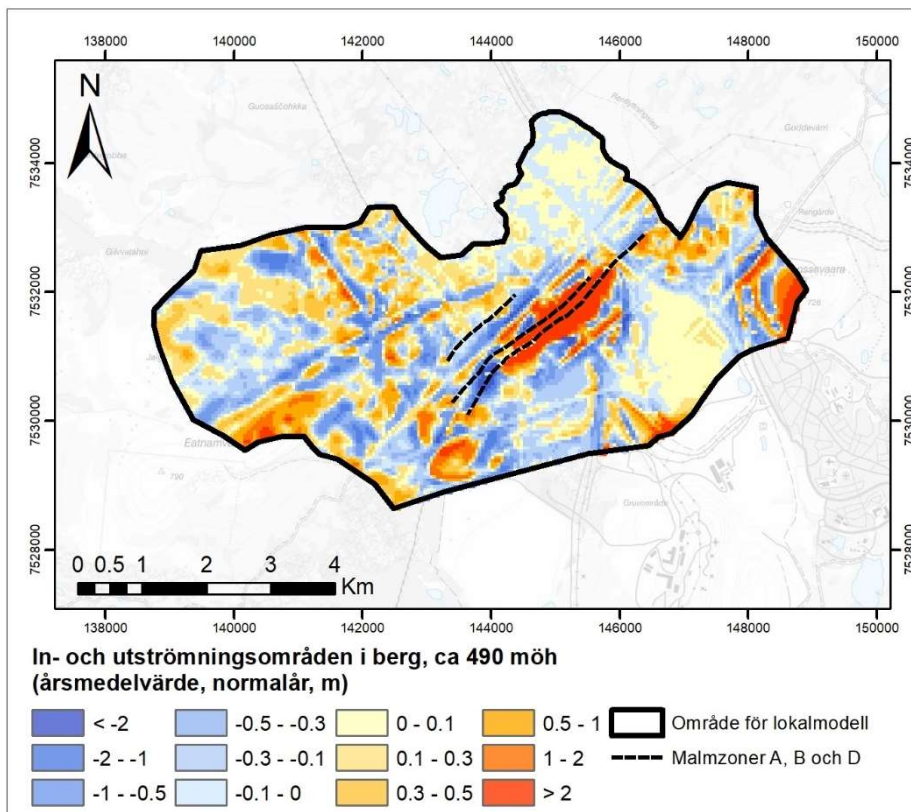
Kuva 11-13. Lasketut sisään- ja ulosvirtausalueet siirtymässä maaperästä kalliioon tämänhetkissä olosuhteissa normaalivuoden aikana. Tulokset esitetään vuosikeskiarvona.



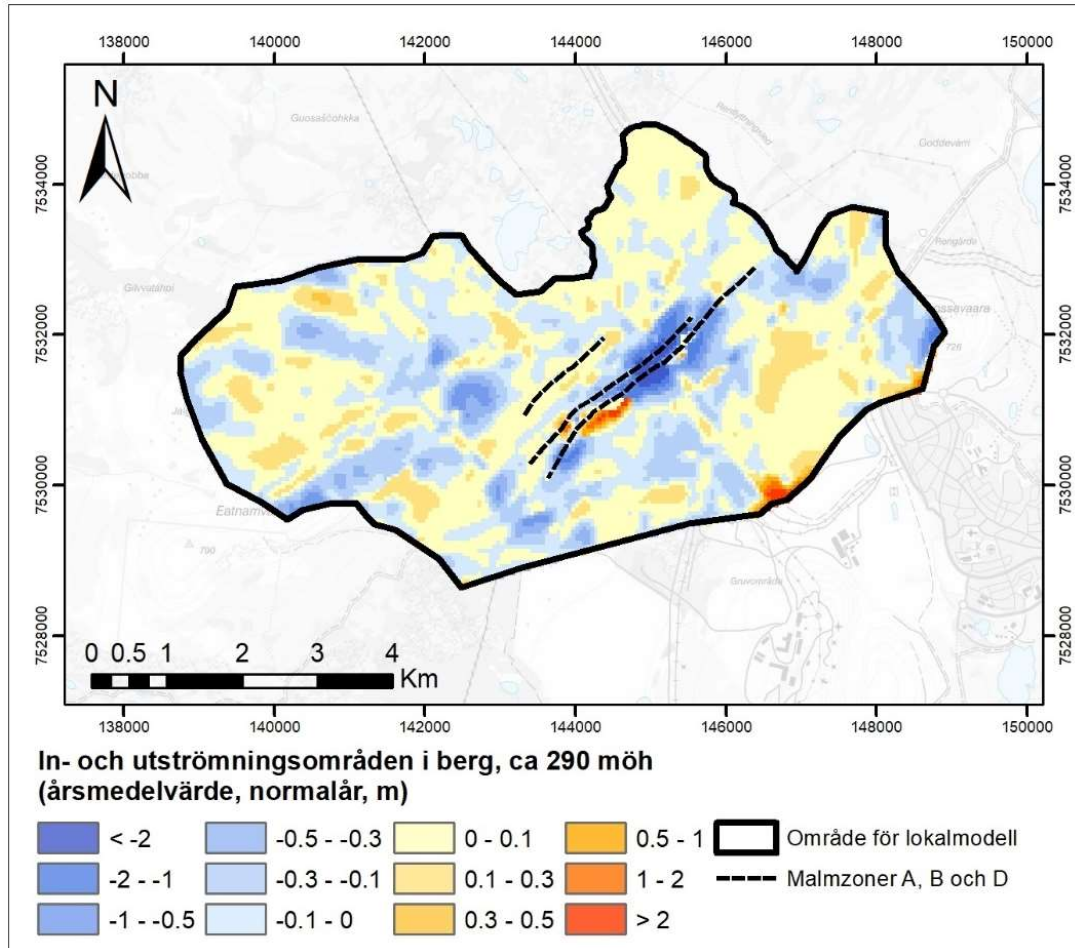
Kuva 11-14. Lasketut sisään- ja ulosvirtausalueet siirtymässä maaperästä kalliioon tämänhetkisissä olosuhteissa kuivan vuoden aikana. Tulokset esitetään vuosikeskiarvona.



Kuva 11-15. Lasketut sisään- ja ulosvirtausalueet siirtymässä maaperästä kalliioon tämänhetkisissä olosuhteissa kostean vuoden aikana. Tulokset esitetään vuosikeskiarvona.



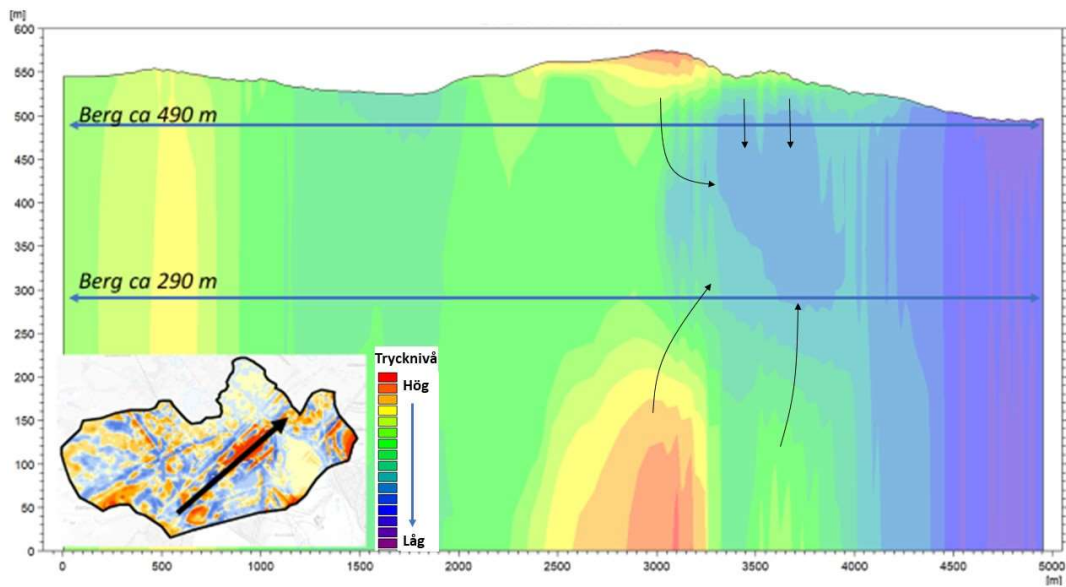
Kuva 11-16. Lasketut sisään- ja ulosvirtausalueet kalliolla tasolla 490 m merenpinnan yläpuolella tämänhetkisissä olosuhteissa normaalivuoden aikana. Tulokset esitetään vuosikeskiarvona.



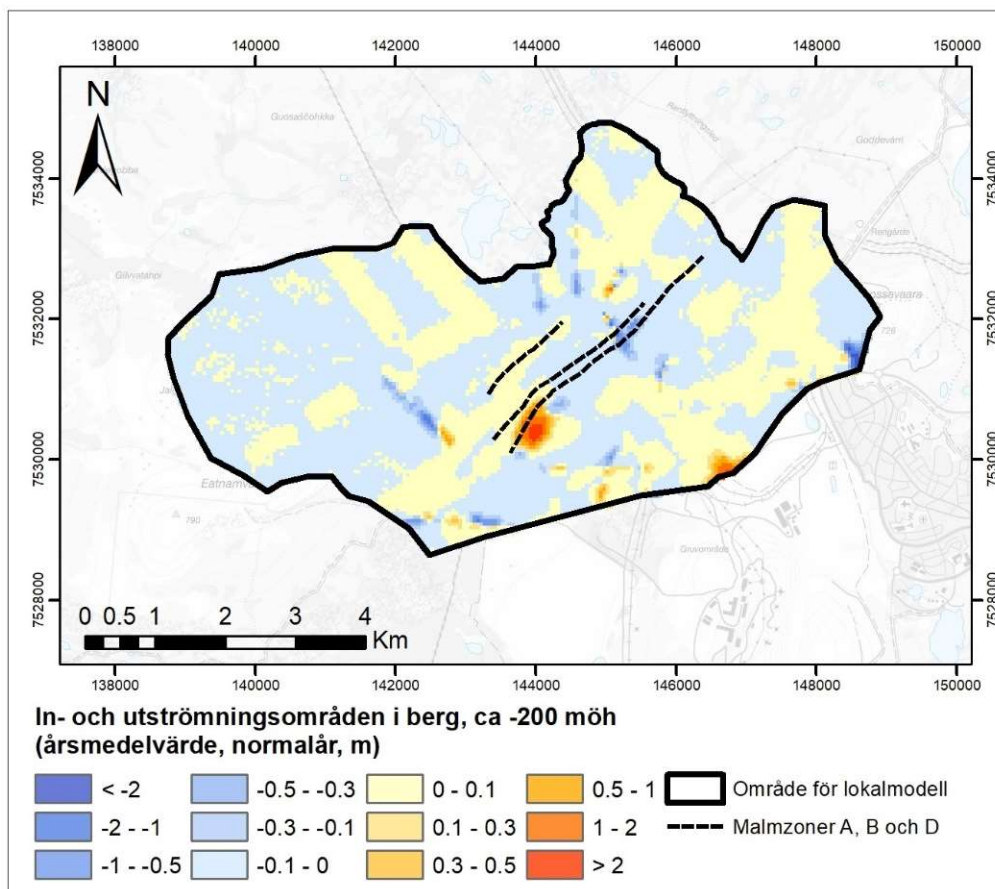
Kuva 11-17. Lasketut sisään- ja ulosvirtausalueet kalliolla tasolla 290 m merenpinnan yläpuolella tämänhetkisissä olosuhteissa normaalivuoden aikana. Tulokset esitetään vuosikeskiarvona.

Figur 11-18 sisältää esimerkin yleisestä virtauskuvioista kuvan vasempaan alakulmaan piirrettyä profiilia pitkin. Profiilissa näkyy, miten päävirtaus 490 m merenpinnan yläpuolella suuntautuu alaspäin nykyistä kaivosta ympäröivällä alueella A-vyöhykkeellä. Tasolla 290 m merenpinnan yläpuolella ollaan kuitenkin kaivoksen alla ja virtaus siellä tapahtuu pääasiassa ylöspäin kohti suljettua kaivosta.

Suuremmissa syvyyksissä kaltevuudet pienenevät ja virtauskuviot muuttuvat yhä laajamittakaavaisemmiksi. Figur 11-19 sisältää laskennalliset sisään- ja ulosvirtausalueet kalliolla noin 200 m merenpinnan alapuolella. Virtauskuvioita tässä syvyydessä sääntelevät suurelta osin muodonmuutosvyöhykkeet, mutta myös kaivoksen syvemmät osat.



Kuva 11-18. Profiili, jonka sijainti on upotetun kuvion mukainen. Profiili esittää laskennalliset pohjaveden pinnan korkeudet eri syvyyksissä ja yleiskatsauksen virtauskuviosta nykyisen kaivoksen ympärillä nykyhetken olosuhteissa.



Kuva 11-19. Lasketut sisään- ja ulosvirtausalueet kalliosta tasolla 200 m merenpinnan alapuolella tämänhetkisisä olosuhteissa normaalivuoden aikana. Tulokset esitetään vuosikeskiarvona.

11.2 Tulevan kaivostoiminnan vaikutus

Tulevan kaivostoiminnan vaikutusten analysoimiseksi kalibroitu mallia nykyisille olosuhteille on muutettu niin, että mallissa on kuvattu tulevat maanpinnan muutokset ja maanalaiset kaivokset kussakin vaiheessa. Vaihe 2 vastaa tapausta, joka on jo kuvattu osana kalibroitua eli jossa tällä hetkellä veden täyttämästä kaivoksesta tyhjennetään vesi. Laskettu vaikutusalue vaiheen 2 lopussa on kuvattu kohdassa Figur 10-23.

Kaivosveden virtausta avolouhokseen ja maanalaisiin kaivoksiin vaiheissa 3:30% ja 3:100% on simuloitu, kuten myös uudelleenkyllästymisaikaa ja valumaa toiminta-alueelta vaiheessa 5. Yksityiskohtaiset tulokset kaivosveden sisäänvirtauksesta ja pohjavesivaikutuksista on kuvattu vaiheen 3:100% osalta tässä luvussa. Muut vaiheen 3 alivaiheet kuvataan yleisemmällä tasolla. Vaihe 3:100% on suhteellisen konservatiivinen tulevaisuusskenaario. Se kuvaa täysin louhittua kaivosta, jossa kaikki malmi 800 metriin asti alaspäin katsotaan louhituksi. Kaikkien vaiheen 3 alivaiheiden simulaatioita on tehty tarkoituksena analysoida ja kvantifioida hydrologisia vaikutuksia, jotka ovat seurausta pohjavesiputkien käytöstä olemassa olevissa ja suunnitelluissa maanalaisissa kaivoksissa ja avolouhoksissa kussakin vaiheessa. Hydrologista vaikutusta vaiheen 3 lopussa, joka kuvataan yksityiskohtaisesti tulevassa osiossa, voidaan siis pitää suurimpana simuloitavana vaikutuksena, kun otetaan huomioon mallissa tehdyt konservatiiviset oletukset kallion vettä johtavista ominaisuuksista.

Jo vaiheessa 3:30% eli kaivoksen ollessa 30-prosenttisesti käytössä oletetaan, että kaikki avolouhokset ja varastot on perustettu. Tämä tarkoittaa sitä, että mallin maanpäällinen rakenne on sama kaikissa vaiheen 3 alivaiheissa, vain maanalaisen kaivoksen laajuus vaihtelee. Suunnitellut rikastushiekka- ja selkeytsaltaat sekä varastot ja tuleva maanpinta/topografia kuvataan kohdassa Figur 4-8. Maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksen alueet kuvataan kohdassa 6.2.4.

Alustavissa laskelmissa havaittiin, että vajoamisen leviäminen tapahtui reunaa kohden luoteissuunnassa ja kaivoksen kaakkoispuolella. Mallialuetta laajennettiin ennen lopullisten vajoamislaskelmien tekemistä sen varmistamiseksi, että mallialue oli riittävän laaja ja että mallialueen koko ei rajoita laskettua vajoamista. Suurempi mallialue esitetään seuraavien lukujen kuvioissa.

11.2.1 Pohjaveden pinnan tason vaikutus

Pohjaveden pinnan sijainnin luonnollinen vaihtelu sekä mallin ja mittauksen epävarmuustekijät on otettava huomioon, kun tarkastellaan pohjaveden alenemisen vaikutusta. Alueilla, joilla pohjavesi on jatkuvasti lähellä pintaa, kuten kosteikoissa ja järviä ja vesistöjä ympäröivillä rantavyöhykkeillä, on myös yleensä alhaisempi pohjaveden korkeuden pinnan luonnollinen amplitudi, koska pohjavesi on usein maan pinnassa tai sen läheisyydessä. Tämän tyyppisillä alueilla alempi vaikutusraja voi olla perusteltu, kun taas korkeampi raja on perusteltu alueilla, joilla vaihtelu on suurempaa ja pohjaveden pinta on syvemmällä. Tämän johdosta sekä 0,3 m:n että 0,1 m:n vajoamisrajoja on tutkittu.

Pohjaveden pinnan lasku kolmena tyyppivuotena täysin louhitun kaivoksen yhteydessä (vaihe 3:100%) kuvataan kohdissa Figur 11-20–Figur 11-25. Vaikutusalueeksi on kuvioissa määritelty alue, jossa vapaan pohjaveden taso on laskenut yli 0,3 m. Tämä raja on infrastruktuurihankkeissa yleisesti esiintyvä vaikutusraja. Jotkut ympäristöt, joissa pohjaveden pinta on hyvin lähellä, voivat kuitenkin olla herkkiä 30 cm:ä pienemmille muutoksille. Pohjavesivaikutuksen ja sen seurausten arvioimiseksi tietyissä luonnonympäristöissä (Liite B8) on analysoitu myös 10 cm vastaava pinnan aleneminen. Vajoamisen laajuus tällä vaikutuksen alarajalla kuvataan erikseen osiossa 11.2.2. Samassa osiossa esitetään myös kuvio, joka osoittaa, missä vaikutusalueen osissa vapaa pohjaveden pinta sijaitsee kalliossa ja maakerroksissa.

Suurin vaikutus pohjaveden tasoon ilmenee lähellä avolouhusta ja maanalaista kaivosta. Tämä koskee kaikkia vaiheen 3 alivaiheita. Vaiheen 3 kaikissa alivaiheissa vajoaminen leviää pääasiassa koillisesta lounaaseen D- ja B-vyöhykkeiden välissä sijaitsevaa lineamenttia pitkin. Lisäksi vajoaminen leviää luoteesta kaakkoon pitkin lineamentteja, jotka kulkevat malmioiden pohjoisosien läpi A- ja B-vyöhykkeillä. Kuten edellä mainittiin, kohdissa Figur 11-20–Figur 11-25 näkyvät vain täysin louhitun kaivoksen tulokset. Tämä johtuu siitä, että vaikutusalueen laajuus ja muoto muuttuvat vain hyvin vähän vaiheiden 3:30% ja vaiheen 3:100% välissä. Suurin vaikutus vapaaseen pohjaveden pintaan ilmenee, kun avolouhos louhitaan ja tyhjenetään sekä kun ylemmät noin 200–450 m maanalaisesta kaivoksesta louhitaan, mikä vastaa jo 30-prosenttisesti louhittua kaivosta. Pystysuuntaisten malmivyöhykkeiden syvemmässä louhinnassa vaikutusalue kasvaa vain hyvin vähän vapaan pohjaveden pinnan osalta. Tämän vuoksi kuvissa Figur 11-20–Figur 11-25 esitettävät tulokset kuvaavat kaikkia vaiheen 3 alivaiheita. Syvemmässä louhinnassa vajoamisen kokoluokka on kuitenkin suurempi vaikutusalueen keskiosissa eli kaivoksen välittömässä läheisyydessä. Vajoamisen leviämisen ja lineamenttien laajuuden välillä on selvä yhteys: suurin osa vaikutusalueista, jotka eivät sijaitse suorassa kosketuksessa kaivokseen, ovat hydraulisessa kosketuksessa kaivoksen kanssa lineamenttien kautta. Yleisesti ottaen pohjaveden laskuun eivät vaikuta paljonkaan sääolosuhteet, vaan vajoamiskuvioon vaikuttaa kaivoksen muotoilu. Vaikutusalueen koko vastaa normaalia vuotta 6,4 km², kuivaa vuotta 6,7 km² ja kosteaa vuotta 6,2 km². Taulukossa Tabell 11-2 esitetään vaikutusalueen kokonaispinta-ala eri tyyppivuosilta ja alueet, joilla vapaan pohjaveden pinnan laskennallinen lasku on yli 1 m ja 10 m.

Kuvissa Figur 11-21, Figur 11-23 ja Figur 11-25 vajoaminen liittyy pohjaveden pinnan laskettuun syvyyteen tämänhetkisisä olosuhteissa. Alueet, joilla pohjavesi on tällä hetkellä mallin mukaan yli 2 metrin syvyydessä ja jotka kuuluvat alentuneisiin alueisiin, on merkitty harmaalla. Pohjavedet ovat alueella useimmiten alle 2 metrin syvyydessä, mikä on perusteena alueen jakamiselle suuriin ja pinnallisempiin syvyyksiin pohjaveden tason osalta. Alueiden, joilla luonnollinen syvyys pohjaveden pintaan on yli 2 m, voidaan olettaa olevan vähemmän herkkiä pohjavesivaikutuksille, koska ne eivät toimi elinympäristöinä pohjavedestä riippuvaisille kasveille tai eläimille. Suuria osia vaikutusalueen kaukaisemmista osista, jotka eivät ole kaivosten ja avolouhoksen välittömässä läheisyydessä, kuuluu alueisiin, joilla pohjavesi on suhteellisen syvällä koskemattomissa olosuhteissa. Vaikutusalueella on vähän alankomaisia turve- tai kosteikkoalueita, jotka sijaitsevat kauempana kaivoksesta. Pohjaveden laskun seuraukset pohjavedestä riippuvaisille luonnonympäristöille alueilla, joilla pohjaveden pinta on tällä hetkellä hyvin syvällä, voidaan olettaa vähäisemmiksi kuin alueilla, joilla pohjavesi on hyvin lähellä

maanpintaa, jolloin pieni alentuminen voi aiheuttaa suhteellisen suuria seurauksia. Alentuneet alueet, joiden vaikutuksesta riippumaton syvyys pohjaveden pinnan tasoon, on normaalivuotena yli 2 metriä, muodostavat 2,6 km² suuruisen alueen, toisin sanoen 41 % koko vaikutusalueesta. Vastaavat luvut ovat 3,0 km² (44%) kuivan vuoden osalta ja 2,6 km² (42%) kostean vuoden osalta. Enemmistö alueista, joilla pohjaveden laskettu syvyys koskemattomissa olosuhteissa ylittää 2 m, sijaitsee tuntureilla, joilla huiput ovat paljasta kalliota. Nämä alueet ovat usein pohjaveden sisäänvirtausalueita, jotka ovat yleisesti ottaen herkempiä pohjavesivaikutuksille kuin ulosvirtausalueet. Kun pohjavesi laskee syvemmällä kallioperässä, yläpuolisilla ylänköalueilla aiheutuu suhteellisen suuri pohjaveden pinnan lasku samalla kun pohjaveden tason laskulla ulosvirtausalueilla on yleisesti pienempi vaikutus, koska tuleva pintapohjavesi voi kompensoida syvemmän kallioperän tason laskua.

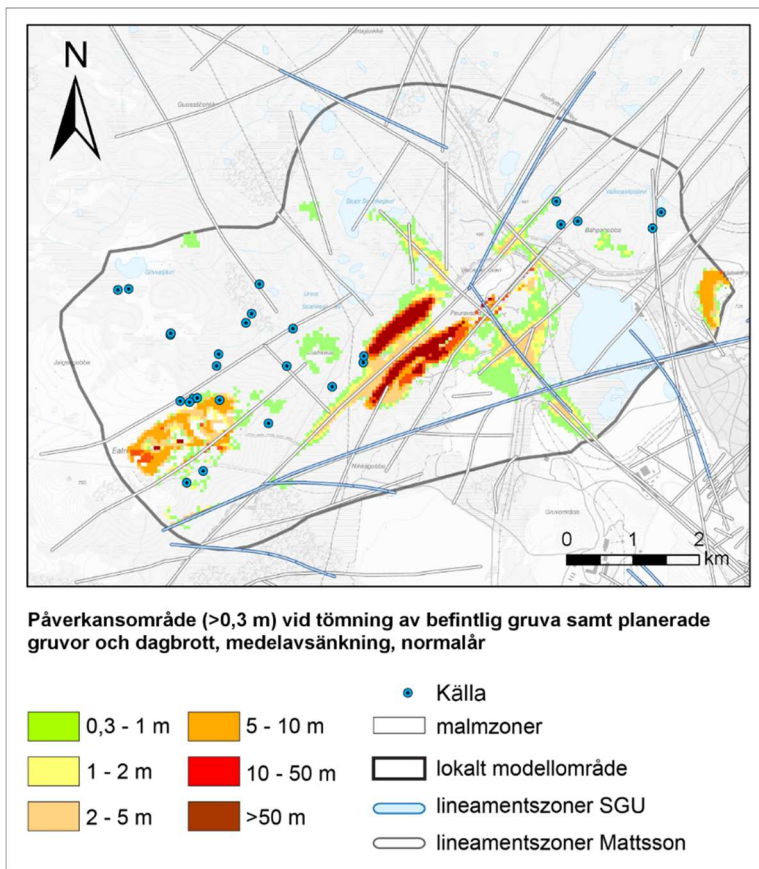
Mallialueen itäisessä ja läntisessä osassa on kaksi aluetta, joissa vaikutus on melko suuri, koska pohjaveden taso laskee kaikissa skenaarioissa suuruusluokkaa 5–10 m. Nämä alueet muodostuvat kahdesta vuoresta, Luossavaara idässä ja Eatnamvarri lännessä. Alueet ovat mallissa hydraulisessa yhteydessä lineamentiin, joka leikkaa hieman kaivosalueita. Näiden kahden vuoren huiput, jotka on luokiteltu alueiksi, joissa on näkyvissä oleva kallio, ovat pohjaveden sisäänvirtausalueita samalla kun niiden rinteiden juurella on lähteitä ja ulosvirtaavaa pohjavettä. Kuten osiossa 5 on mainittu, tietyt lähteet ovat tulkitun lineamentin lähellä, mikä voi viitata siihen, että on olemassa yhteys syvän pohjaveden ulosvirtaukseen. Ei kuitenkaan ole mitään mallituloksia, joiden mukaan alueet olisivat syvän pohjaveden ulosvirtausalueita, mikä vahvistaa käsitelmällistä tehtyä olettamaa, että rinteiden juurelta ulos virtaa pintapohjavettä.

Monet lähteet Eatnamvarrin ja Soahkevarrin rinteiden varrella ovat ennustetulla vaikutusalueella, ja lähteiden paikat on merkitty kuvassa Figur 11-20. Koska kallioperän pohjaveden pinta laskee, niin myös sen vapaan pohjaveden pinta laskee. Tämä vaikutus johtuu siitä, että kaikkien lineamenttien oletetaan olevan vettä johtavia vyöhykkeitä. Kallioperän pohjavesijärjestelmän päällä on kuitenkin hyvin lähellä pintaa oleva järjestelmä ohuissa maakerroksissa vuoren rinteiden varrella. Tähän pintaa lähellä olevaan järjestelmään ei vaikuta kallioperän pohjaveden lasku, koska suuri osa vuorelle satavasta vedestä ei tunkeudu sen sisään vaan valuu maakerroksissa rinteiden varrella. Ennustettu vaikutus lähteiden lähellä on mallissa siten yliarvioitu, koska kompensoitumista tulevasta pintapohjavedestä vuoren ylängöiltä ei olla täysin huomioitu.

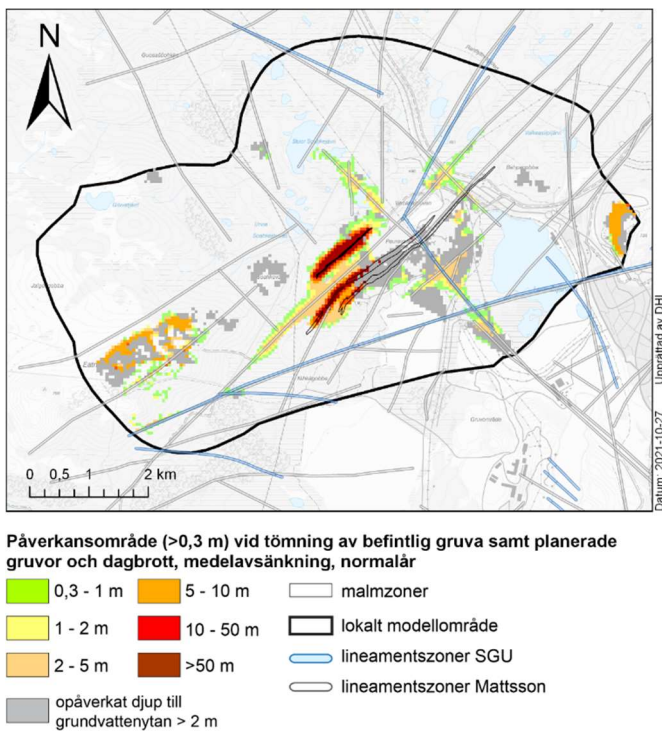
Pohjaveden pinta laskee jopa 2 m mallivanan ja sen lähellä olevalla alueella Luossajärvestä lounaaseen kaikkina tyypivuosina. Tällä alueella on nykytilanteen mallissa suhteellisen suuri laskettu syvyys pohjaveden pintaan. Pohjaveden tasoon kallioperässä vaikuttaa Kiirunavaaran kaivos, ja pohjaveden pintaan vaikuttaa poisvalutustoimet rautatien yhteydessä. Epävarmuudet nykyisen pohjavesitilanteen suhteen tällä alueella ovat suuret, ja poisvalutus rautatien yhteydessä on kuvattu mallissa vain yleisluontoisesti. Myös alueen laskettuun vaikutukseen liittyy siten epävarmuuksia.

Taulukko 11-2. Vaikutusalueen ala eri tyypivuosina sekä herkkyytilanteessa, jossa näkyvissä oleva kallion alueella on suurempi imeytymiskyky.

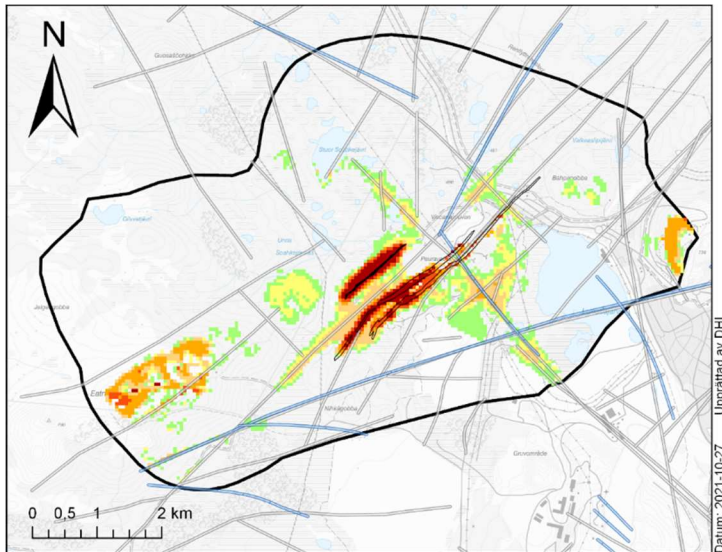
Laskentatapaus	Vaikutusalue yhteensä km ²	Alue, olla pintaveden laskua >1m	Alue, olla pintaveden laskua >10m
Normaalivuosi	6,4	4,0	0,9
Kostea vuosi	6,2	3,9	0,9
Kuiva vuosi	6,7	4,4	0,9



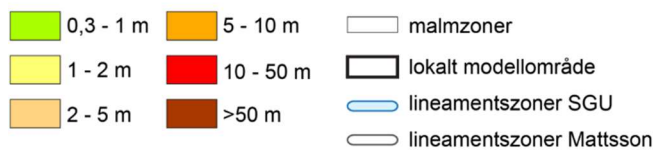
Kuva 11-20. Vaikutusalue nykyisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä sekä täysin louhitussa kaivoksessa vaiheessa 3:100 %, normaalivuosi. Kuvassa näkyvät myös alueen kentätarkastetut lähteet.



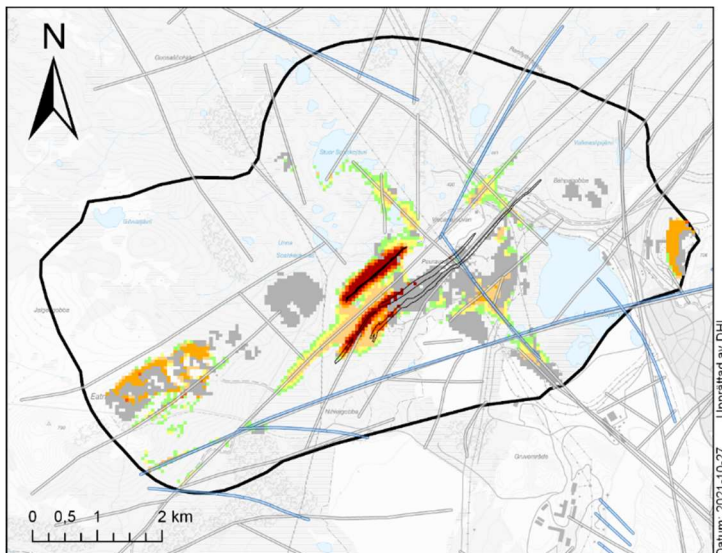
Kuva 11-21. Vaikutusalue nykyisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä sekä täysin louhitussa kaivoksessa vaiheessa 3:100 %, normaalivuosi. Vaikutusalueet, joissa pohjaveden pinta on alempana kuin 2 metrissä koskemattomissa olosuhteissa, on merkitty harmaalla.



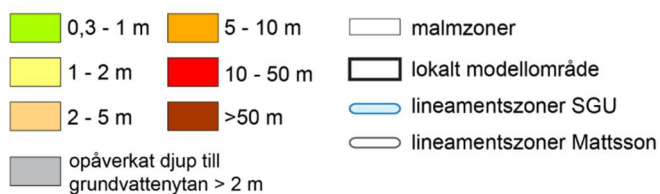
Påverkansområde (>0,3 m) vid tömning av befintlig gruva samt planerade gruvor och dagbrott, medelavsänkning, torrår



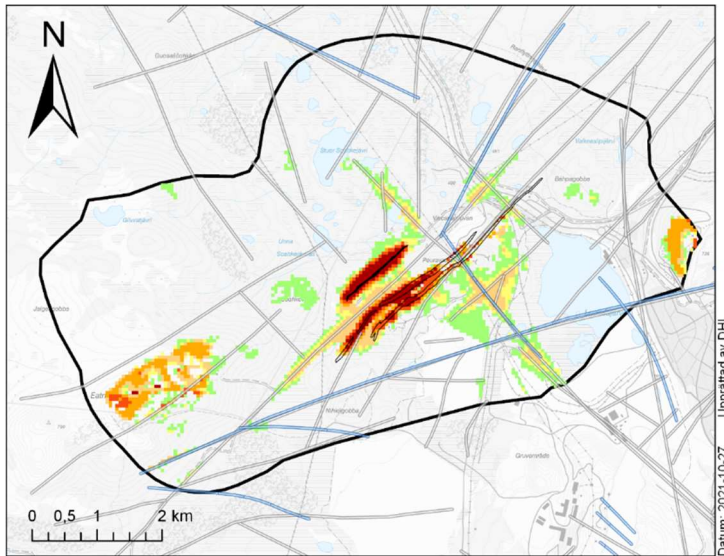
Kuva 11-22. Vaikutusalue nykyisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä sekä täysin louhitussa kaivoksessa vaiheessa 3:100%, kuiva vuosi.



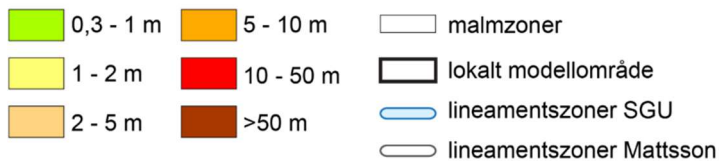
Påverkansområde (>0,3 m) vid tömning av befintlig gruva samt planerade gruvor och dagbrott, medelavsänkning, torrår



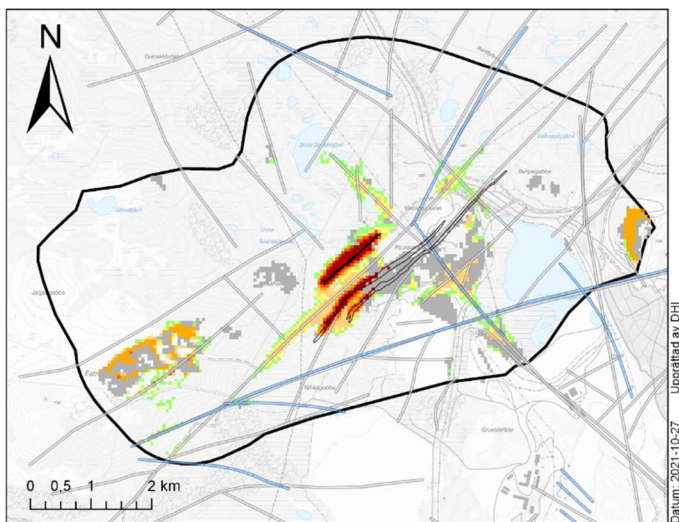
Kuva 11-23. Vaikutusalue nykyisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä sekä täysin louhitussa kaivoksessa vaiheessa 3:100%, kuiva vuosi. Vaikutusalueet, joissa pohjaveden pinta on alempana kuin 2 metrissä koskemattomissa olosuhteissa, on merkitty harmaalla.



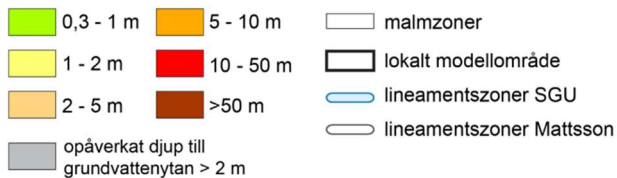
Påverkansområde (>0,3 m) vid tömning av befintlig gruva samt planerade gruvor och dagbrott, medelavsänkning, våtår



Kuva 11-24. Vaikutusalue nykyisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä sekä täysin louhitussa kaivoksessa vaiheessa 3:100%, märkä vuosi.



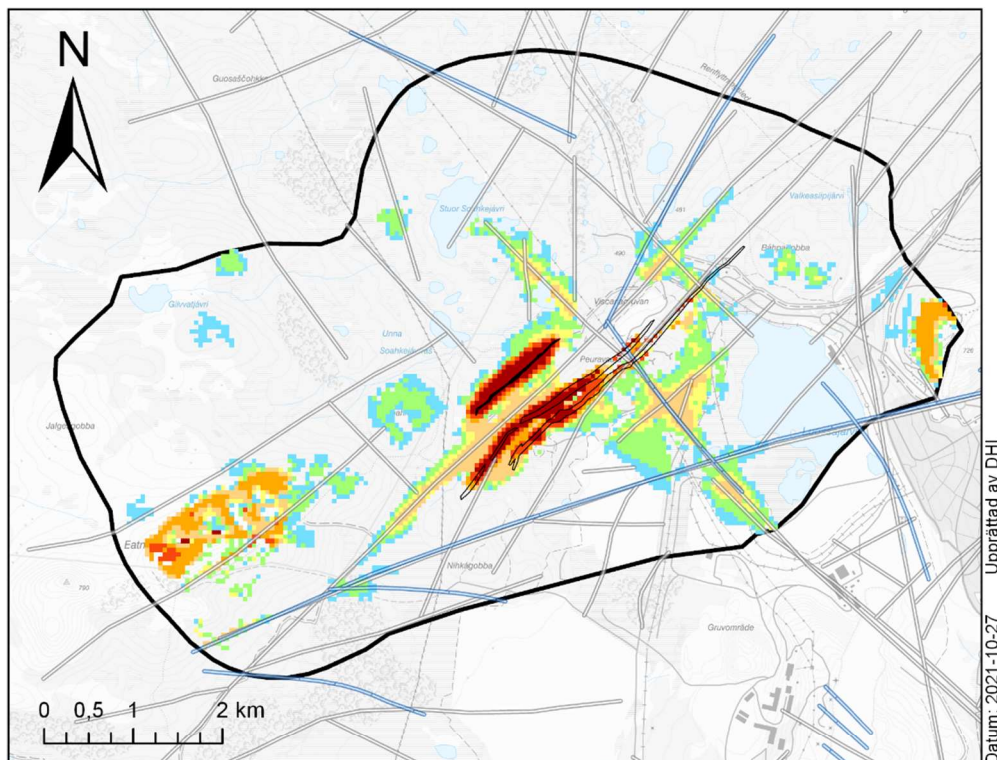
Påverkansområde (>0,3 m) vid tömning av befintlig gruva samt planerade gruvor och dagbrott, medelavsänkning, våtår



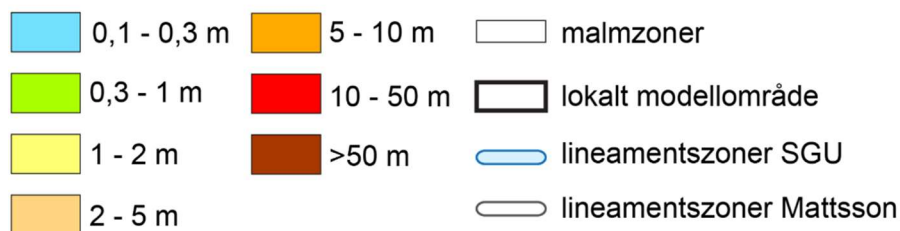
Kuva 11-25. Vaikutusalue nykyisen kaivoksen tyhjennyksen yhteydessä sekä täysin louhitussa kaivoksessa vaiheessa 3:100%, märkä vuosi. Vaikutusalueet, joissa pohjaveden pinta on alempana kuin 2 metrissä koskemattomissa olosuhteissa, on merkitty harmaalla.

11.2.2 Vaikutukset pohjaveden pintaan alueilla, joilla pohjavesi on lähellä maanpintaa.

Alueilla, joilla pohjavesi on hyvin lähellä maanpintaa, tai täysin kyllästyneillä alueilla, voi hyvin pieni muutos pohjaveden pinnassa aiheuttaa seurauksia luonnonympäristöön. Alla olevassa kuvassa näkyy vaikutusalue, jossa raja vaikutukselle menee 10 cm kohdalla. Joitakin yksittäisiä uusia alueita on, joissa pinnan lasku on pieni, 10–30 cm, muutoin useimmat välin 10–30 cm alueet liittyvät alueisiin, joissa pohjavesi on jo laskenut. Alla olevassa kuvassa on esitetty normaalivuoden keskimääräinen lasku. Vaikutusarvioinnissa on tutkittu tämän yksittäistason (10 cm asti) vaikutusta kaikkina tyyppivuosina ja kasvukauden eri kuukausina. Mahdollisia seurauksia pohjaveden vaikutuksesta 10 cm syvyydellä tarkastellaan tarkemmin luontoarvojen arvioinnissa ja N2000-selvityksessä (Liite B8).



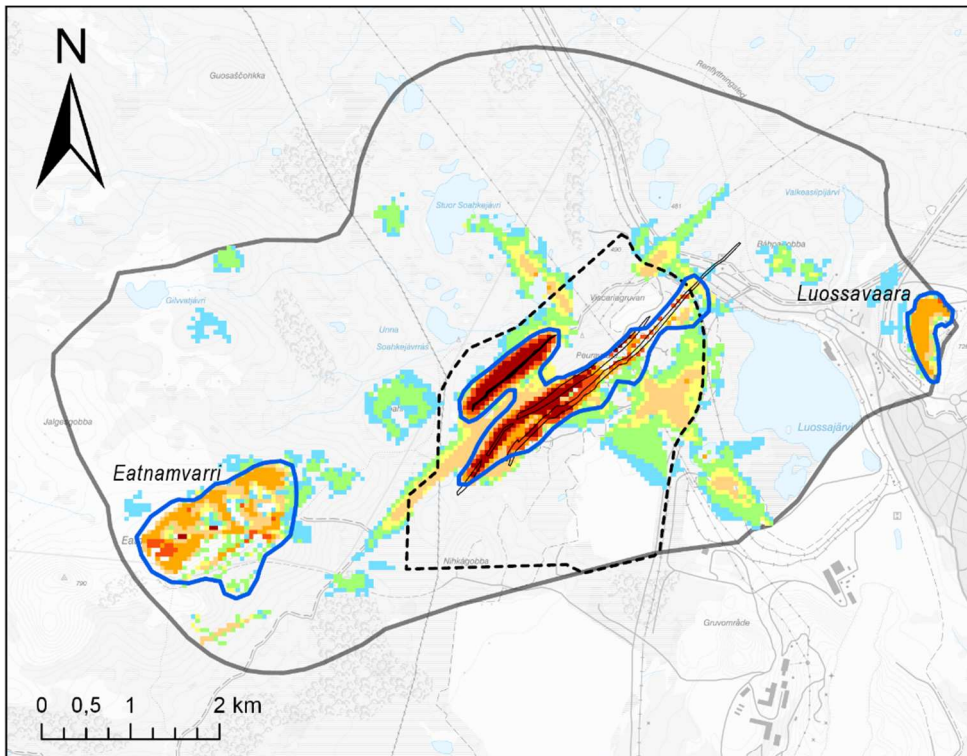
Påverkansområde (> 0,1 m) vid tömning av befintlig gruva samt planerade gruvor och dagbrott, medelavsänkning, normalår



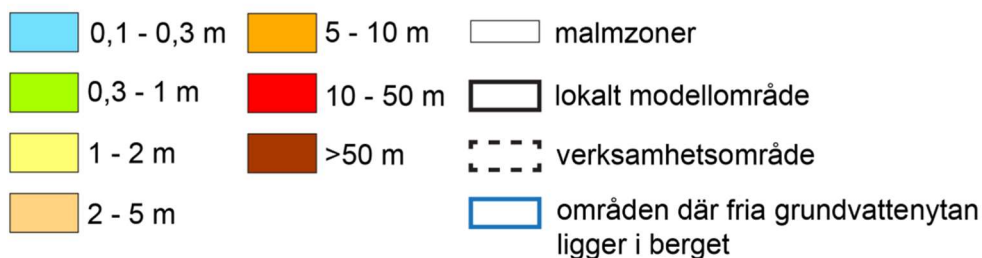
Kuva 11-26 Vaikutus pohjaveden tasoon normaalivuonna vaiheessa 3: 100 % vajoamisrajan ollessa 10 cm.

Suuressa osassa vaikutusalueetta vapaan pohjaveden pinta jää maakerrokseen. Vain maanalaisen kaivoksen yläpuolisilla alueilla sekä alueilla lähellä avolouhusta pohjaveden pinta on alhaalla kallioperässä, Figur 11-27. Alueet, joilla suurin pohjaveden pinnan lasku

tapahtuu, sijoittuvat alueille, joissa pohjaveden pinta on kallioperässä. Ne vaikutusalueen osat, joissa pohjaveden pinta on maakerroksessa, laskee pinta yleensä enintään noin 5 m. Laskelmien perusteena on mallinnettu maaperän syvyys, ja kaikki alueet, missä maaperän syvyys on suurempi kuin laskettu pinnan lasku, oletetaan alueiksi, joissa vapaan pohjaveden pinta on maakerroksessa. Eatnamvarrin ja Luossavaaran ylävillä alueilla häiriötön pohjaveden pinta on kallioperässä. Molempien huipulla on ohut maakerros, ja pintapohjavesi/maavesi, johon kallioperän pohjaveden pinnan lasku ei vaikuta. Tämä on kuvattu tarkemmin kohdassa 11.2.1.



Påverkansområde (>0,1 m) vid tömning av befintlig gruva samt planerade gruvor och dagbrott, medelavsänkning, normalår



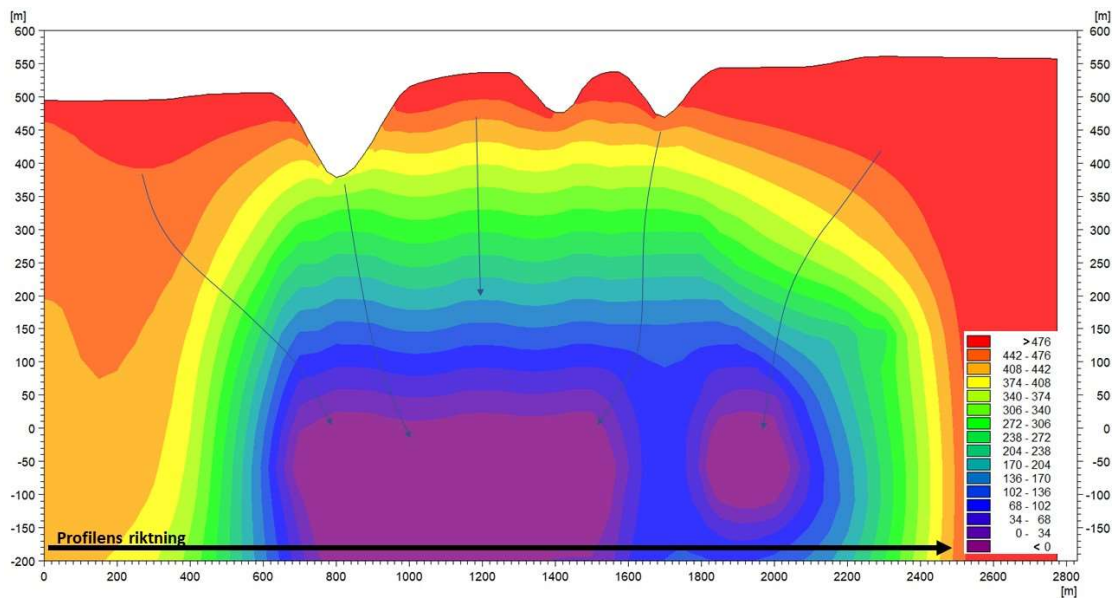
Kuva 11-27. Vaikutus pohjaveden tasoon normaalivuonna vaiheessa 3: 100 % vajoamisrajan ollessa 10 cm. Ne alueet vaikutusalueella, joissa pohjaveden pinta on kallioperässä, oin ympäröity mustalla. Niillä alueilla vaikutusalueella, joita ei ole merkitty, pohjaveden pinta on maakerroksessa.

11.2.3 Pohjaveden vaikutus kallioperässä

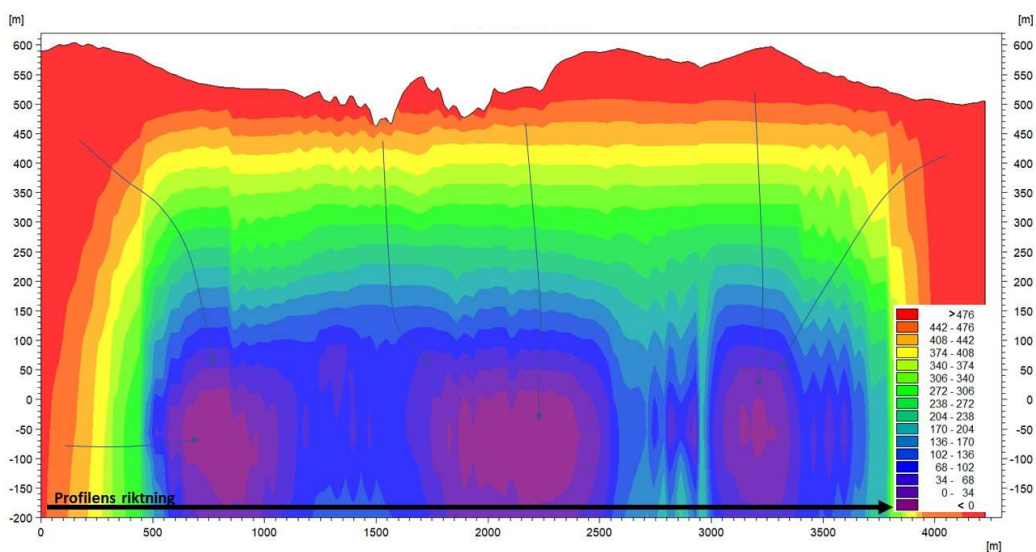
Kohdassa 11.1.3 kuvataan vaiheen 1 (nykytila) ja vaiheen 2 (tällä hetkellä veden täyttämän kaivoksen tyhjennys) pohjavesitasot kallion eri syvyyksissä. Näistä kahden profiilin sijainnit näkyvät kuvassa Figur 11-6. Seuraavissa kuvissa esitetään samojen profiilien pohjavesitasot normaalivuonna tulevan kaivostoiminnan vaiheessa 3:100% eli täysin louhitun kaivoksen yhteydessä. Kuvien tarkoituksena on tutkia, miten kallion pohjavesitaso

muuttuu näissä profiileissa verrattuna nykytilaan, kun maanalaiset kaivokset ja avolouhos on perustettu.

Kallion pohjavesitaso profiilin A osalta näkyy kuvassa Figur 11-28 ja kallion pohjavesitaso profiilin B osalta kuvassa Figur 11-29. Maanalaisen kaivoksen käytävät ja tunkeutumisyvyshykkeet A-, B- ja D-vyöhykkeillä näkyvät kuvassa selvästi violetteina. Violetit alueet ovat kaivoksen kyllästymättömiä alueita, joilla vettä johdetaan kaivoksesta pois ilmakehän paineen säilyttämiseksi. Vaikka kallioperän pohjaveden taso laskee huomattavasti, siinä on maanalaisen kaivoksen yläpuolisia alueita, jotka ovat vedestä kyllästyneitä. Tämä tarkoittaa, että vapaa ylempi pohjaveden pinta on monissa paikoin kaivoksen käytävien yläpuolella eikä laske kaivoksen alimpaan tyhjennystasoon.



Kuva 11-28. Laskettu pohjaveden taso eri syvyyksillä kallioperässä profiilin A mukaisesti tulevassa kaivostoiminnassa.



Kuva 11-29. Laskettu pohjaveden taso eri syvyyksillä kallioperässä profiilin B mukaisesti kolmelle eri kaivosskenaariolle.

11.2.4 Kaivostoiminnan vaikutus pintaveden virtaamiin ja pintaveden tasoihin

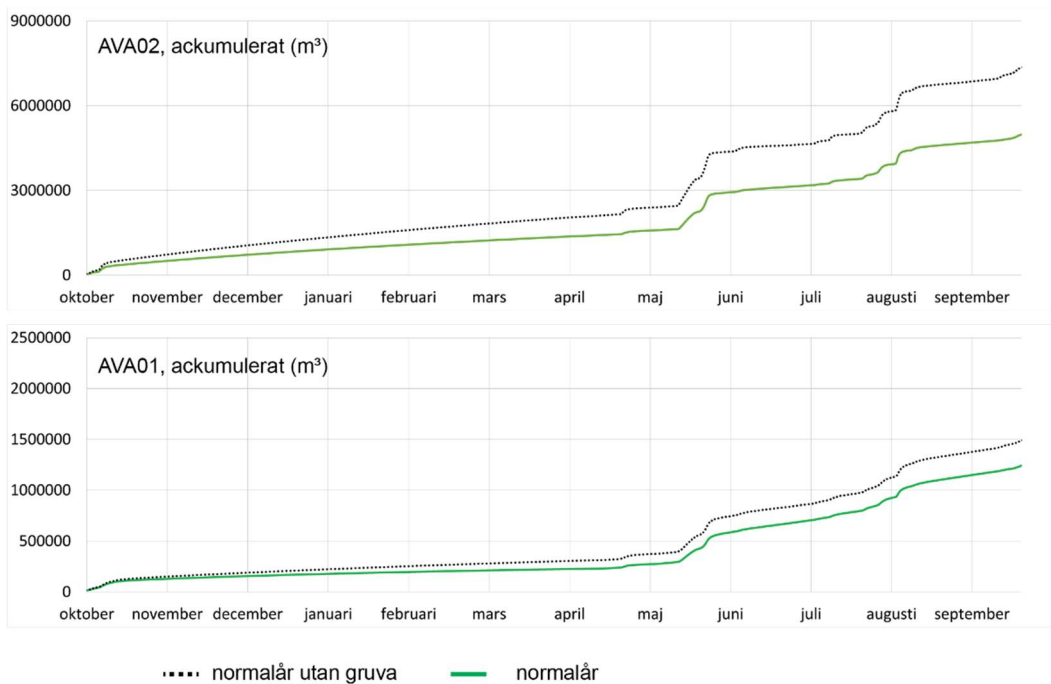
Tässä kappaleessa selvitetään muutos, joka tapahtuu alueen vesistössä sen seurauksena, että pohjavedet johdetaan pois avolouhoksista ja maanalaisesta kaivoksesta, eli vesistöön kulkeutuvan pohjavesimäärän vähentyessä. Pintavesijärjestelmän veden valutus ei sisälly näihin mallilaskelmiin. Tämä tarkoittaa, että tulokset osoittavat sen vaikutuksen, joka kohdistuu alueen vesistöön, jos lisääntynyttä pohjavettä ei johdeta maaperään. Osiossa 9 on esitetty tulokset ennustetusta vaikutuksesta koskien pitoisuuksia alueen vesistössä, kun ylivuodot ja tulevat purkukohdat otetaan huomioon.

Pintaveden virtaamat Pahtajoessa ja Tvillingtjärn-järjestelmästä alavirtaan pienentyvät tulevan louhinnan yhteydessä, kun pohjavedet ohjataan muualle. Tämä puolestaan vähentää pohjaveden kulkeutumista vesistöön. Jos muualle ohjattua pohjavettä ei tuoda takaisin järjestelmään, laskettu valuma asemilla AVA02 ja AVA01 vähenee noin 33 % ja 17 % kaikkina tyyppivuosina täysin louhitun kaivoksen yhteydessä, Tabell 11-3. AVA 02:n valuma vähenee jo vaiheessa 2 8 %:lla. Tämä vaikutus kasvaa sitten noin 33 %:iin sitä mukaa kuin pohjaveden muualle ohjausta lisätään vaiheen 3 eri alivaiheissa. AVA01:ssä väheneminen voimistuu jo vaiheessa 2 16 %:iin, eikä vaikutus virtaamaan muutu juurikaan tulevissa vaiheissa, vaan kasvaa enää 1% vaiheessa 3:100%. Tämä osoittaa, että vaiheessa 3 odotettavissa oleva pohjaveden ohjaus muualle ei vaikuta Tvillingtjärn-järjestelmän pintavalumaan, vaan ennen kaikkea pohjaveden kulkeutumiseen Pahtajokeen. Kuten edellä mainittiin, lasketut virtaamat kaikille huomioitaville vaiheille poistoveden päästöissä ja pintaveden uudelleenohjauksessa kuvataan yksityiskohtaisesti luvussa 9. Virtaaman todellinen muutos vaiheessa 3 otettaessa poistoveden päästöt huomioon johtaa virtaaman kasvuun AVA02:ssä ja virtaaman vähenemiseen AVA01:ssä, koska kaivoksen poistovettä ei ohjata ulos järjestelmästä vaiheen 2 aloituksen vuoksi.

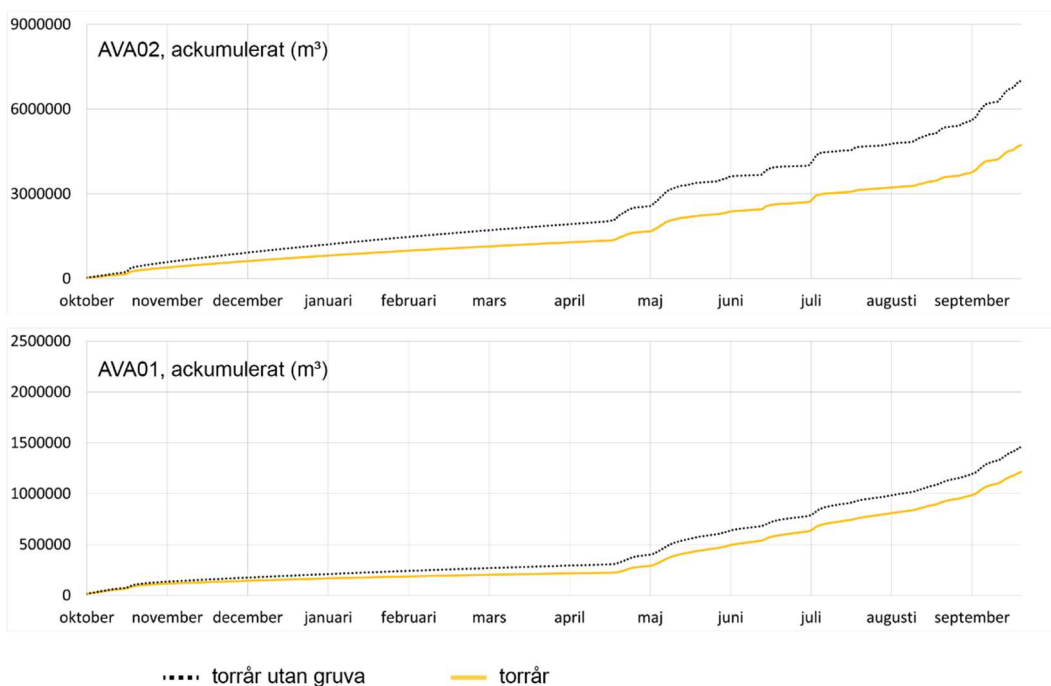
Kuvissa Figur 11-30, Figur 11-31 ja Figur 11-32 näkyy kertynyt virtaama AVA01:ssä ja AVA02:ssä hydrologisen vuoden aikana vaiheessa 3:100%. Valutettu tilavuus vähenee myöhemmin koko vuoden ajan. Suurin vaikutus voidaan kuitenkin havaita lumen sulamisen aikana. Tämä johtuu siitä, että perusvirtaama alenee kaivoksen vedenpoiston vuoksi. Lisää pohjavettä tunkeutuu syvään kallioperään kuin nykyisin ja mahdollistaa sen, että suurempi osa lumen sulamisvedestä suotautuu pohjaveteen. Jos ylivuoto ja prosessiveden palauttaminen vesistöön otetaan huomioon, on vaikutus kuitenkin olennaisesti vähäisempi. Tarkempi selvitys siitä, miten tuleva kaivostoiminta vaikuttaa pintaveteen, on esitetty luvussa 9, samoin kuin vaikutus alueen pintaveden laatuun.

Taulukko 11-3. Vaikutus kumuloiutuun valumaan alueen vesistössä eri tyyppivuosille tulevassa kaivostoiminnassa vaiheessa 3:100%.

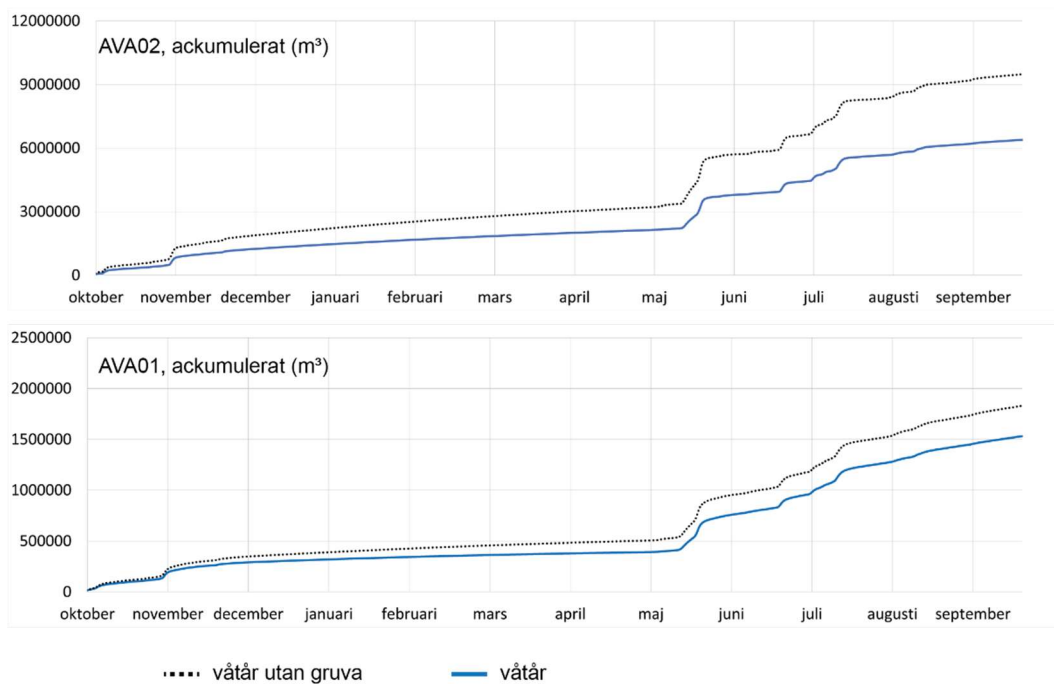
	Ero suhteessa vastaavaan häiriöttömään vuoteen, %	
Skenaariot	Pahtajoki, AVA02	Tvillingtjärn-järvet, AVA01
Normaalivuosi	32%	17%
Kostea vuosi	33%	17%
Kuiva vuosi	33%	16%



Kuva 11-30. Kumuloitu valuma normaalivuodelle AVA02-asetalle Pahtajoessa sekä AVA01-asetalle Tvillingsjö-järvissä vaiheessa 3: 100% sekä häiriöttömälle viitetilanteelle normaalivuoden aikana.



Kuva 11-31. Kumuloitu valuma kuivalle vuodelle AVA02-asetalle Pahtajoessa sekä AVA01-asetalle Tvillingsjö-järvissä vaiheessa 3: 100% sekä häiriöttömälle viitetilanteelle kuivan vuoden aikana.



Kuva 11-32. Kumuloitu valuma märälle vuodelle AVA02-asetalle Pahtajoessa sekä AVA01-asetalle Tvillingsjö-järvissä vaiheessa 3: 100% sekä häiriöttömälle viitetilanteelle määrän vuoden aikana.

11.2.5 Kaivoksen sisään tapahtuva vuoto vaiheessa 3

Vuoto kaivokseen on laskettu kaikille vaiheen 3 alivaiheille eli 30-, 70- ja 100-prosenttiselle kaivokselle sekä eri tyyppivuosille eli kuivalle, märälle ja normaalille vuodelle. Laskettuja tulovirtaamia on käytetty syötetietoina laskettaessa malleja geokemiallisille olosuhteille (liitteet 2.1.1 ja 2.1.2) prosessivesijärjestelmässä (liite 2.1) sekä laskettaessa virtaamia ja pitoisuuksia alueen vesistöissä (luku 9).

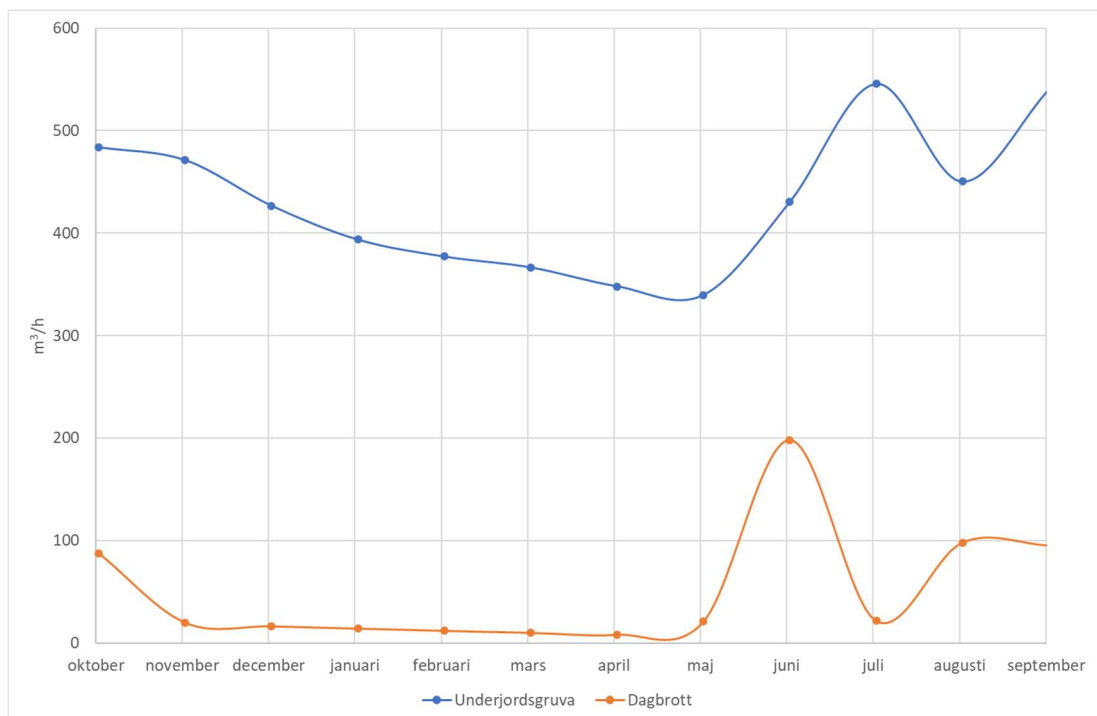
Taulukossa

Tabell 11-4 kuvataan kuukausittainen keskivirtaus kaivokseen (maalainen kaivos ja avolouhos) kaikilla malmivyöhykkeillä eli A-, B- ja D-vyöhykkeillä sekä B- ja D-vyöhykkeiden välisellä kuljetus- ja infrastruktuurialueella. Tulovirtaus kaivokseen lisääntyy asteittain alkuvaiheesta täysin louhittuun kaivokseen vuosittaisen keskivirtauksen ollessa 306 m³/h vaiheessa 3:30%, 389 m³/h vaiheessa 3:70% ja 481 m³/h vaiheessa 3:100%. Tulovirtaamat ovat suurimmillaan märkinä vuosina, kun taas keskivirtauksen ero kuivien ja normaalien vuosien välillä on pieni.

Taulukko 11-4. Kuukausittainen keskivirtaama (m³/h) maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen vaiheen 3 eri alivaiheissa 3:30%, 3:70% ja 3:100%.

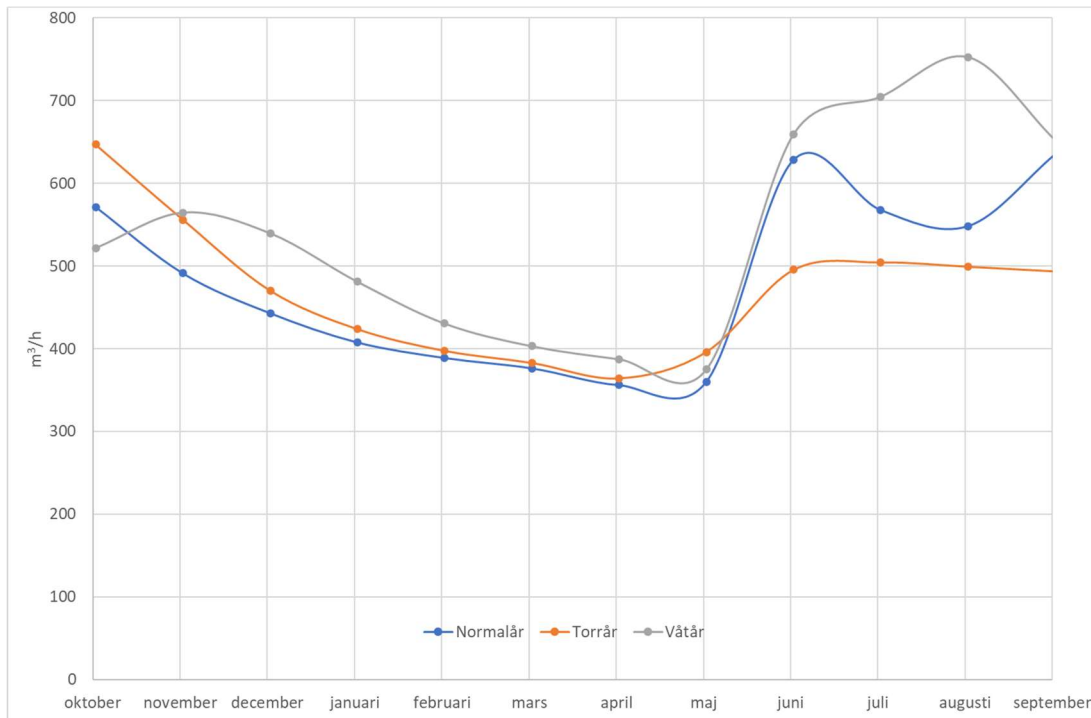
Kuukausi	Normaalivuosi, m ³ /h			Kuiva vuosi, m ³ /h			Märkä vuosi, m ³ /h		
	Vaihe 3:30%	Vaihe 3:70%	Vaihe 3:100%	Vaihe 3:30%	Vaihe 3:70%	Vaihe 3:100%	Vaihe 3:30%	Vaihe 3:70%	Vaihe 3:100%
lokakuu	373	460	571	470	556	647	343	422	522
marraskuu	278	366	491	300	408	556	348	412	564
joulukuu	261	341	443	279	377	470	295	359	540
tammikuu	251	323	408	262	358	424	281	338	481
helmikuu	244	310	389	252	338	397	272	322	430
maaliskuu	239	302	376	245	321	383	264	312	403
huhtikuu	230	289	356	238	310	364	248	300	387
toukokuu	279	326	360	237	301	396	288	333	375
kesäkuu	470	582	629	430	479	495	574	670	659
heinäkuu	293	402	568	305	387	504	371	570	704
elokuu	451	537	548	343	422	499	501	683	752
syyskuu	301	434	635	338	415	494	386	534	652
K-arvo	306	389	481	308	389	469	347	438	539

Figur 11-33 näyttää kokonaistulovirtaaman koko kaivokseen ja siirtymävyöhykkeille jaettuna maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen täysin louhitussa kaivoksessa (vaihe 3:100%). Kokonaistulovirtaama on keskimäärin 431 m³/h ja avolouhoksiin keskivirtaama on 56 m³/h. Tulovirtaama vaihtelee ympäri vuoden ja saavuttaa korkeimman tasonsa lumen sulamisen yhteydessä. Virtaaman huippu avolouhoksessa on aiemmin kuin maanalaisessa kaivoksessa, jossa se viivästyy siksi, että prosessit syvällä kallioperässä ovat hitaammat. Tulovirtaama vaihtelee kesäaikaan ja laskee sitten tasaisesti lokakuusta huhtikuuhun ulottuvalla kaudella.



Kuva 11-33. Sisäänvirtaus maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen vuosijaksolla normaalivuotena, vaihe 3:100%.

Figur 11-34 näyttää kokonaistulovirtaaman sekä maanalaiseen kaivokseen että avolouhokseen kaikissa malmioissa eri tyyppivuosina vaiheessa 3:100%. Perusvirtaama syksyn ja talven aikana on suurin märkänä vuotena ja lähes sama kuivana ja normaalivuotena. Virtaaman kasvu myöhäiskevällä on suurinta kosteana vuotena ja pienin kuivana vuotena. Kosteana vuotena ilmenee virtaamahuippu myös myöhäiskesällä, ja tämä ylittää tulovirtaaman, joka muodostuu lumen sulamisen yhteydessä kosteana vuotena. Kuivana vuotena tulovirtaus kasvaa kevään aikana ja koko kesän suunnilleen samalla tasolla ennen kuin se alkaa laskea syyskuun alussa.



Kuva 11-34. Kokonaistulovirtaama maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen normaalivuotena, kuivana vuotena ja märkänä vuotena vaiheessa 3:100%.

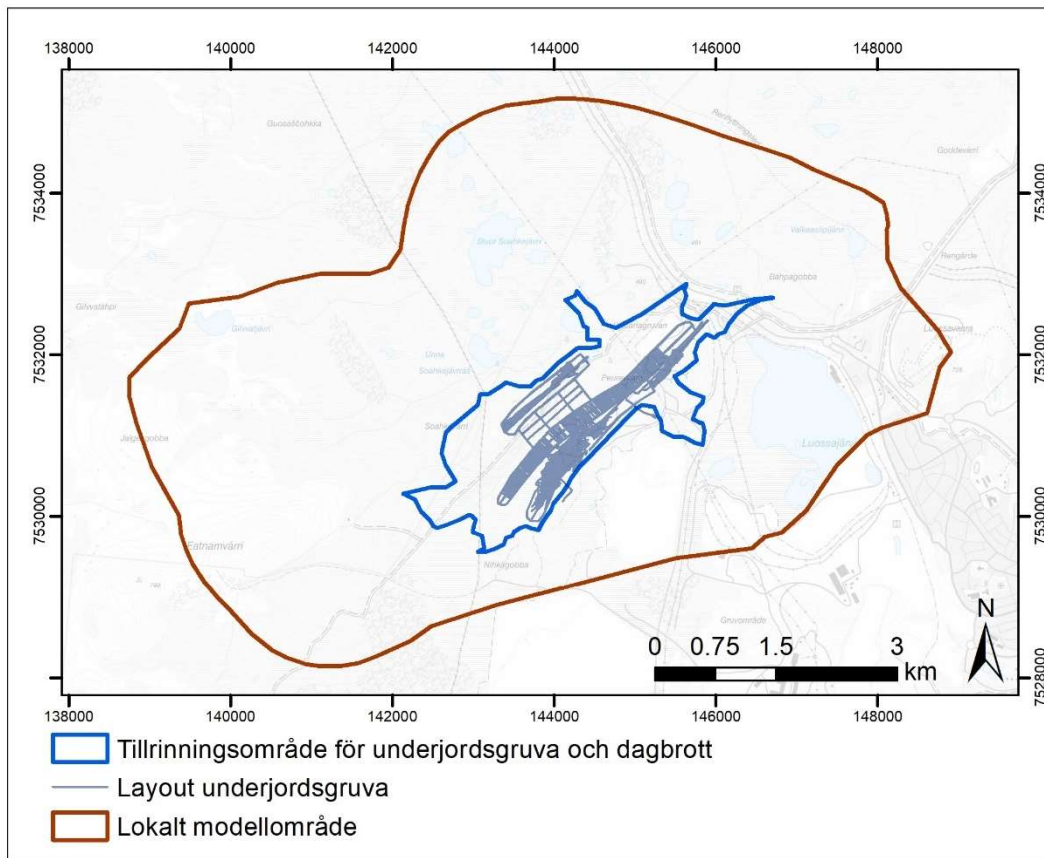
Tabell 11-5 näyttää kunkin malmion sekä niin kutsutun siirtymävyöhykkeen minimi-, maksimi- ja keskivirtaaman eri tyyppivuosina vaiheessa 3:100%. Tulovirtaamat on lisäksi jaettu avolouhoksessa ja maanalaisessa kaivoksessa eri malmioille. Siirtymävyöhykkeessä ei ole avolouhosta. Suurin virtaama avolouhokseen on D-vyöhykkeen malmiossa. Tämä avolouhos on laajuudeltaan suurin ja myös syvin. Suurin laskettu tulovirtaama maanalaiseen kaivokseen muodostuu B-vyöhykkeellä ja nousee arvoon 157 m³/h, joka on noin 36 % maanalaisen kaivoksen tulovirtaamasta. D-vyöhyke edustaa 25 % kokonaistulovirtaamasta, A-vyöhyke 16 % ja siirtymävyöhyke 22 %. Keskitulovirtaama kaikkiin maanalaisiin osiin

kuivana vuotena on samaa luokkaa kuin normaalivuotena, kun taas kosteana vuotena kaikkien osien virtaamat kasvavat. D-vyöhykkeellä maanalaisen osan keskitulovirtaama kuitenkin kasvaa jonkin verran kuivana vuotena, mikä johtuu vuotuisesta dynamiikasta sadannassa, lumen sulamisessa ja pohjaveden muodostumisessa sekä kaivoksen ympärillä olevan kallioperän varastointiominaisuuksista.

Taulukko 11-5. Sisäänvirtaus maanalaiseen kaivokseen ja avolouhoksiin vaiheessa 3:100% jaettuna eri malmioiden maanalaisiin osiin ja avolouhoksiin.

Typår	Zon A, underjords- gruva, m ³ /h	Zon A, dagbrott, m ³ /h	Zon B, Till underjords- gruva, m ³ /h	Zon B, dagbrott, m ³ /h	Zon D, Till underjords- gruva, m ³ /h	Zon D, dagbrott, m ³ /h	Transportzon , underjords- gruva, m ³ /h
Normalår							
Min	60	0	133	0	57	8	89
Max	80	21	186	12	189	165	101
Medel	70	4	157	2	109	44	95
Torrår							
Min	61	0	135	0	67	1	89
Max	78	11	184	8	166	130	101
Medel	69	3	156	2	112	32	95
Våtår							
Min	63	0	138	0	74	9	91
Max	86	26	203	14	253	186	104
Medel	74	6	166	3	133	58	98

Täysin louhitun kaivoksen (vaihe 3:100%) valuma-alue eli alue, jolta kaivokseen tulee pohjavettä, näkyy kuvassa Figur 11-35. Valuma-alueen laajuus vastaa tietyiltä osin vaikutusalueetta koillinen-lounas-suunnassa malmioiden varrella ja koillinen-kaakko-suunnassa sen lineamentin varrella, joka leikkaa kaivoksen pohjoisosan A- ja B-vyöhykkeillä. Kuvassa näkyy kaivoksen laajuus syvyysuunnassa sekä miten valuma-alue idässä kaivoksen eteläosan varrella vastaa yleisesti kaivoksen laajuutta syvyysuunnassa. Kaivoksen pohjoisosan A- ja B-vyöhykkeillä valuma-alue ulottuu kaivoksesta 0,5–1 km itään, länteen ja pohjoiseen. Valuma-alue ulottuu kaivoksesta lounaaseen 0,5–1,5 km kaivoksen laajuuden ulkopuolella. Koko valuma-alueen ala on 5,15 km².



Kuva 11-35. Täysin louhitun kaivoksen valuma-alue (vaihe 3:100%).

11.3 Maanalaisen kaivosten ja avolouhosten uudelleenkyllästyminen, vaihe 5

Vaiheen 3:100% pohjalta on tehty laskelmia maanalaisen kaivoksen ja avolouhoksen uudelleenkyllästymissajan analysoimiseksi. Laskelmissa on käytetty samaa layoutia kuin vaiheessa 3 pohjana mallinnukselle eli versiota 1.31 (katso kohta 2.3). Kahta tapaus on tutkittu: tapaus, jossa avolouhokset pysyvät avoimina ja niihin muodostuu järviä, ja tapaus, jossa avolouhokset on täytetty hylkykivellä. Tällöin avoimia järviä ei muodostu simuloinnissa vaan hylkykivi kyllästyy vedellä ja avolouhoksiin muodostuu pohjaveden pinta. On myös tehty herkkyysanalyysi altaiden määrän vaikutuksesta ajan mittaan kyllästyminen simuloimalla kahta muunnosta kussakin tapauksessa: toinen, jossa altaiden määrä on osion 4 mukainen ja toinen, jossa altaiden määrää taustakallioperässä ja alueen rakovyöhykkeillä on alennettu tekijällä 10. Altaiden yleiset määrät on oletettu mallissa ja määriin liittyy siten epävarmuuksia. Kalibroinnissa tehtiin herkkyysanalyysijä altaiden määrän suhteen. Malli ei osoita merkittävää herkkyyttä tälle arvolle mitä tulee siihen, miten malli kuvaa pohjaveden tasoja ja pintaveden virtaamia, jotka ovat ensisijaiset tiedot mallin kalibroinnissa. Altaiden lukumäärä vaikuttaa kuitenkin ajan mukaan vaihtelevissa prosesseissa kallioperässä pidemmällä aikavälillä, kun se halutaan tyhjentää tai kyllästä uudelleen vedellä. Jotta tyhjentämiseen tai kyllästyminen kuluu aikaa ei aliarvioitaisi, on taustakallioperän altaiden lukumäärä suhteellisen korkea suhteessa kallioperän K-arvoon. Siten tarkastellaan konservatiivista tilannetta ja uudelleenkyllästyminen ajasta tulee suhteellisen pitkä. Tämän herkkyysanalyysin tarkoituksena on siten tutkia, miten altaiden määrä vaikuttaa uudelleenkyllästyminen prosessiin, jotta saadaan aikajakso, joka kuluu maanalaisen kaivoksen ja avolouhosten uudelleen täyttymiseen.

Koska mallin pohjana käytettiin layoutia 1.31, puuttuu yksityiskohtia siitä, miten pintavedet johdetaan alueella jälkihoitovaiheen aikana ja sen jälkeen. Valmiiden laskelmien painopisteenä on siksi analysoida, miten pohjavesien pinnat palautuvat ajan myötä ja mitkä

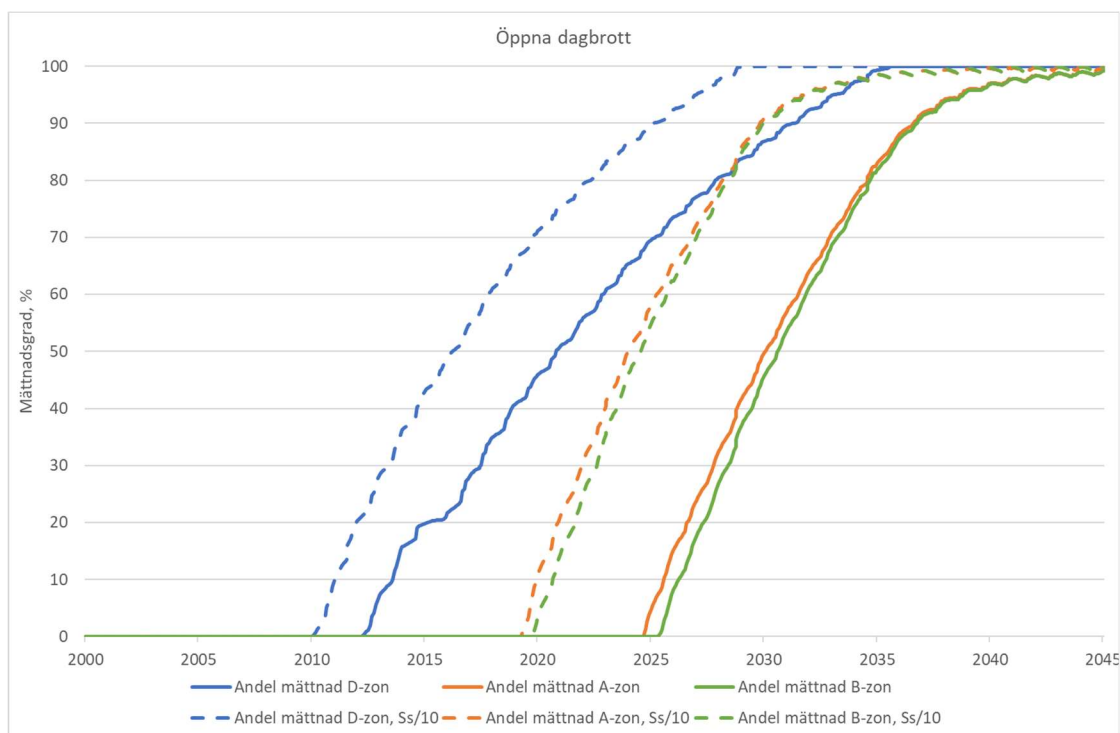
virtaamat tapahtuvat louhitussa kallioperässä ja avolouhoksissa. Pinnallinen valuma toiminta-alueelta ja sen eri osavaluma-alueilta ajankohtana, jolloin maanalaiset kaivokset ja avolouhokset ovat uudelleenkyllästyneet vedellä, on myös laskettu. Valumat eri osa-alueilta sisältävät kuitenkin epävarmuuksia, koska mallissa ei ole kuvattu ojia ja pintaveden mahdollisia uudelleenohjauksia jälkihoidon jälkeisessä tilanteessa.

11.3.1 Avolouhosten uudelleenkyllästyminen kuluva aika

Aiemmista raporteista ja selvityksistä (Mark & Miljö Hydrosense 2011a; 2011b) käy ilmi, että kaivoksen täytyminen vedellä kesti noin 6,5 vuotta toiminnan loppumisen jälkeen. Ei ole kuitenkaan täysin selvää, mikä veden taso on tänä ajankohtana. Jos verrataan tasoja alueella tehdyissä mittauksissa vuodelta 2021 ja samasta porareistä vuodelta 2010, havaitut tasot ovat samaa suuruusluokkaa, mikä osoittaa, että kaivos on jo vuonna 2010 saavuttanut kynnystason. Tämä tarkoittaa, että kaivoksen tasot olivat palautuneet vuonna 2010, joka oli 13 vuotta kaivoksen sulkemisen jälkeen. Alla on esitetty ajat, jotka kuluvat kolmen avolouhoksen ja maanalaisen kaivoksen vedellä kyllästytykseen. Palautumisajat ovat selvästi pidemmät kuin se 13 vuotta, mihin edellä on viitattu, mutta sekä kaivoksen että avolouhosten koko on merkittävästi suurempi tulevassa kaivoksessa kuin nykyisessä Viscarian kaivoksessa, joten ajat on arvioitu kohtuullisiksi.

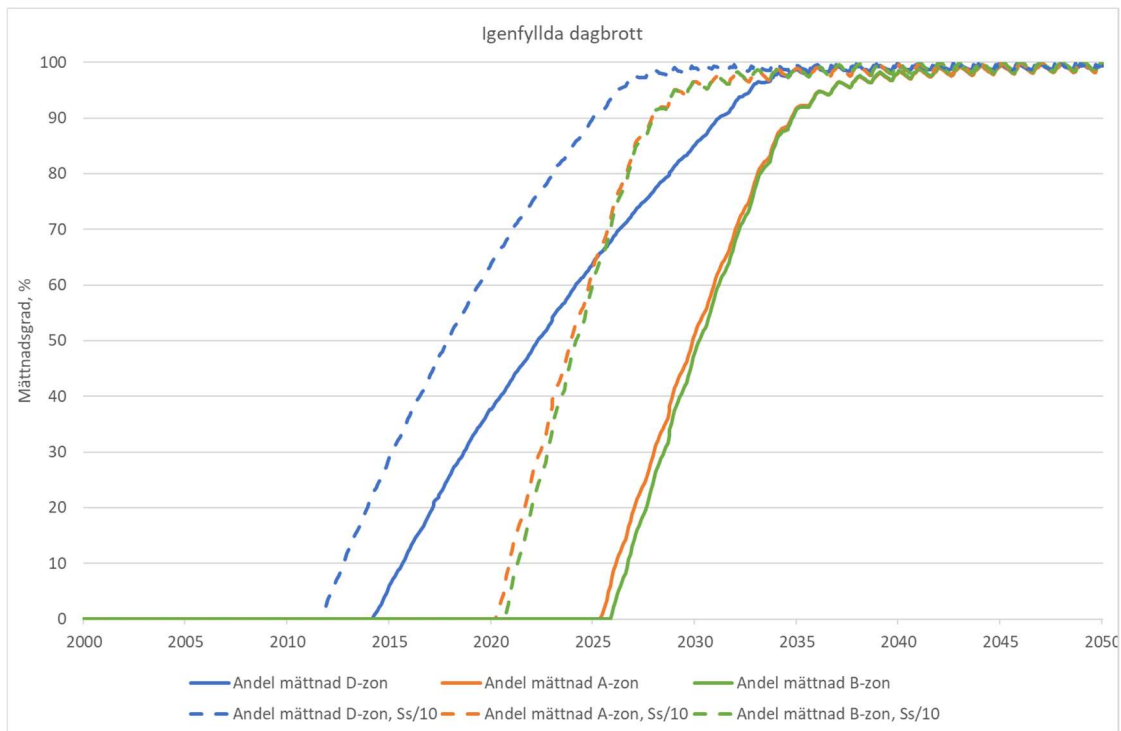
Figur 11-36 näyttää uudelleenkyllästytykseen kuluvan ajan, kun avolouhokset ovat avoimet, ja tulokset näytetään molemmille herkkyystilanteille altaiden määrän suhteen. Tulokset esitetään sellaisina osuuksina avolouhoksista, jotka täytyvät vedellä, ja arvo 100 % vastaa kynnystason saavutuksen ajankohtaa.

Aika avointen avolouhosten täyttymiseen vedellä vaihtelee noin 30 ja 40 vuoden välillä eri malmivyöhykkeissä. A- ja B-vyöhykkeiden avolouhosten täyttyminen kestää pisimmän ajan. Tämä johtuu siitä, että ne ovat korkeammalla kuin D-vyöhykkeen avolouhos. D-vyöhykkeen avolouhos alkaa täytyä vedellä ensimmäisenä, ja vasta 10–15 vuoden kuluttua siitä alkaa järvi muodostua A- ja B-vyöhykkeellä. Jos taustakallioperän ja rakovyöhykkeiden altaiden määrää alennetaan tekijällä 10, lyhenee kynnystason saavuttamisaika noin 10 vuodella kaikissa malmivyöhykkeissä. Kestää noin 10 vuotta, ennen kuin D-vyöhykkeen avolouhos alkaa täytyä vedellä ja noin 25 vuotta, ennen kuin A- ja B-vyöhykkeiden avolouhokset alkavat täytyä vedellä. Tämä johtuu maanalaisesta kaivoksesta, joka simulaation alussa vaiheessa 3 on täysin tyhjennetty vedestä. Kun tyhjennys lopetetaan, maanalaisen kaivoksen onkalot täytyvät ensin vedellä ja vasta sitten kun pohjaveden pinta kallioperässä on palautunut jonkin verran alkaa pintavettä kertyä avolouhoksiin.



Kuva 11-36. Uudelleenkyllästymisen kulku avoimessa avolouhoksessa. Kuva esittää osuudet avolouhoksista, jotka täytyvät vedellä, suhteessa kynnystasoon eli tasoon, jolloin pintavesi alkaa virrata ulos avolouhosten järvistä. Ss/10 viittaa laskennan tapaukseen, jossa altaiden määrä taustakallioperässä ja rakovyöhykkeissä on jaettu tekijällä 10.

Vastaava tulos tilanteelle, jossa avolouhokset on täytetty hylkykivellä, on esitetty kuvassa Figur 11-37. Koska tällöin ei muodostu vapaan veden pintaa, esitetään pohjaveden pinnan palautuminen avolouhoksessa. Kun pohjaveden pinta nousee yli kunkin avolouhoksen pohjan tason, kokonaiskyllästymisasteen osuus nousee, kunnes pohjaveden pinta saavuttaa tason, jossa mallissa voidaan havaita vuoden sisäistä vaihtelua eikä vuosien välistä vaihtelua pohjaveden pinnassa. Tulokset avointen ja täytettyjen avolouhosten välillä uudelleenkyllästymisen ajan suhteen ovat hyvin samanlaiset. Aika kyllästymistason saavuttamiseksi vaihtelee vain muutamalla vuodella näiden kahden tapauksen välillä. Vuoden sisäinen vaihtelu pintaveden syvyydessä avoimen avolouhoksen tapauksessa (Figur 11-36), varsinkin D-vyöhykkeen osalta, ei näy samalla tavoin kuin täytetyn avolouhoksen tapauksessa (Figur 11-37). Tämä johtuu siitä, että haihdunnalla ja sadannalla on suora vaikutus pintaveden avoimessa avolouhoksessa, kun taas täytetyssä louhoksessa pintaa lähinnä olevat prosessit vaimentuvat. Jos taustakallioperään oletetaan pienempi altaiden määrä, kestää noin 5 vuotta saavuttaa uudelleenkyllästyneet olosuhteet. Sama nähdään tapauksissa täytettyjen ja täyttämättömien avolouhosten kanssa.



Kuva 11-37. Uudelleenkyllästymisen kulku täytetyssä avolouhoksessa. Kuva esittää osuudet avolouhoksista, jotka täytyvät vedellä, suhteessa kynnystasoon eli tasoon, jolloin pintavesi alkaa virrata ulos avolouhosten järvistä.

11.3.2 Maanalaiseen kaivokseen ja avolouhoksiin sisään virtaavien vesien määrät

Kuvissa Figur 11-38–Figur 11-43 on esitetty maanalaiseen kaivokseen ja avolouhoksiin sisään virtaavien vesien määrät malmivyöhykkeittäin täytettyjen ja täyttämättömien avolouhosten osalta. Kuvissa on esitetty tulevat vesitilavuudet yksikkönä m^3 vuodessa. Jos virtaama on positiivinen, nettovirtaama suuntautuu maanalaiseen kaivokseen ja avolouhoksiin, ja negatiivinen virtaama tulee näistä ulos. Jos nettovirtaama suuntautuu maanalaiseen kaivokseen, allas on edelleen täyttymässä eli uudelleenkyllästymisprosessi on kaivoksessa edelleen meneillään. Kaivoksen topografisen sijainnin perusteella, sen jälkeen kun avolouhoksen kynnystaso on saavutettu, tapahtuu pohjaveden virtaus hallitsevaan suuntaan, jolloin nettoulosvirtaama tietynä vuotena voi olla negatiivinen. Tämän tyyppinen tulos näkyy vain muuttumattomien altaiden määrän tapauksessa, koska määrä vaikuttaa uudelleenkyllästymisen aikaan, mitä on jo käsitelty kuvissa Figur 11-36 ja Figur 11-37.

Avointen avolouhosten uudelleenkyllästymisen aika, jota tarkasteltiin edellä kuvassa Figur 11-36, heijastuu näiden kuvien tuloksiin. Figur 11-36 näyttää, että vie noin 25 vuotta, ennen kuin A- ja B-vyöhykkeiden avolouhoksiin alkaa kertyä pintavettä, ja noin 13 vuotta, ennen kuin D-vyöhykkeen avolouhokseen alkaa kertyä pintavettä. Samoin kuvat Figur 11-38, Figur 11-40 ja Figur 11-42 näyttävät, miten pinta- ja pohjaveden nettotulovirtaama avolouhoksiin eri malmivyöhykkeillä kasvaa vastaavien aikojen jälkeen. A- ja B-vyöhykkeellä nähdään selvä tulovirtaaman kasvu noin 24 vuoden jälkeen, ja D-vyöhykkeen tulovirtaama alkaa saada positiivisia arvoja noin 10 vuoden jälkeen. Tulovirtaama kasvaa sitten noin 10 vuoden ajan sekä A- ja B-vyöhykkeellä että D-vyöhykkeellä ja lakkaa sitten, ja tästä vielä 8–10 vuoden jälkeen loppuu veden nettovirtaama eri avolouhoksiin täysin. Tällöin on avolouhosjärven kynnystaso saavutettu ja muodostuu pintaveden vuoden sisäinen vaihtelu järvissä, minkä tuloksena nettovirtaama on lähellä nollaa. Eri avolouhoksiin vuodessa virtaava kokonaisvesitilavuus vaihtelee suuresti malmivyöhykkeiden välillä. Vettä virtaa eniten sisään D-vyöhykkeellä ja vähiten B-vyöhykkeellä, mikä johtuu avolouhosten koon

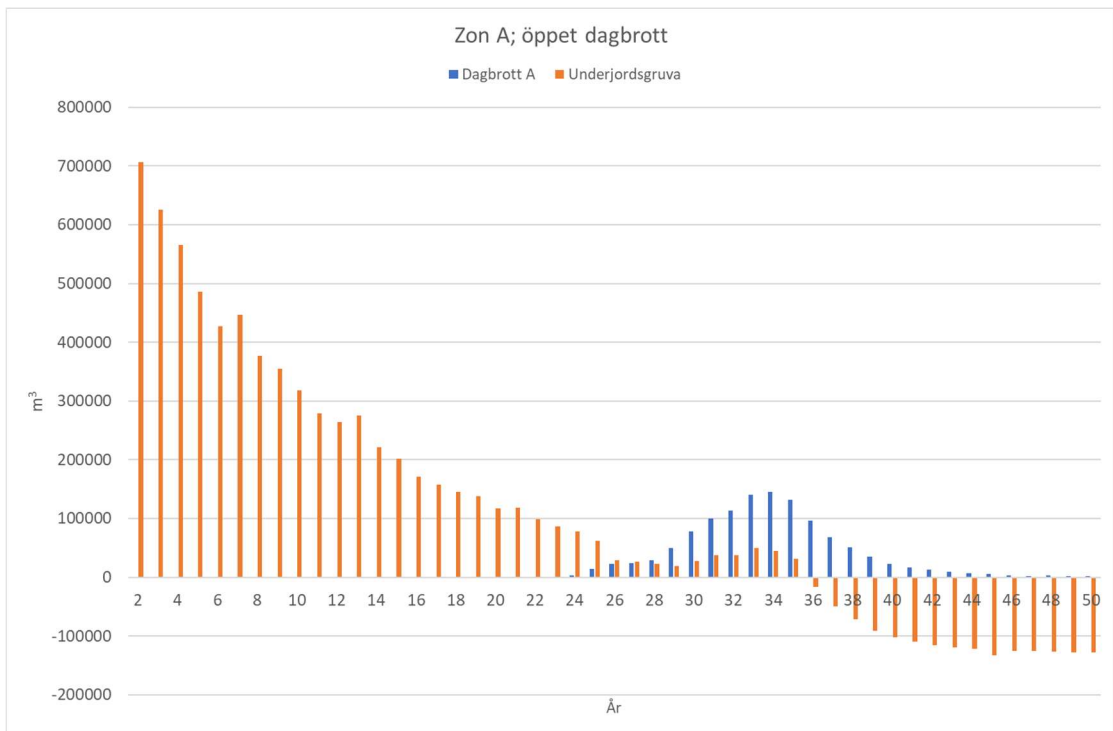
vaihtelusta. D-vyöhykkeen avolouhos on merkittävästi suurempi kuin A- ja B-vyöhykkeen louhokset.

Täytetyn avolouhoksen tapauksessa (Figur 11-39, Figur 11-41 ja Figur 11-43) nähdään täysin erilainen tilanne, mitä tulee veden nettotulovirtaamaan avolouhoksiin. Tässä tapauksessa kyse on sisään virtaavasta pohjavedestä, joka sitten kyllästää avolouhoksessa olevan kivitilavuuden. Pohjavettä virtaa avolouhoksiin kussakin vyöhykkeessä joka vuosi simuloinnin alusta ja tulovirtaama on samaa suuruusluokkaa joka vuosi. Kun altaat maassa ja kallioperässä täyttyvät, virtaamaa ohjaa ympäröivä K-arvo sekä alueen pohjaveden muodostuminen.

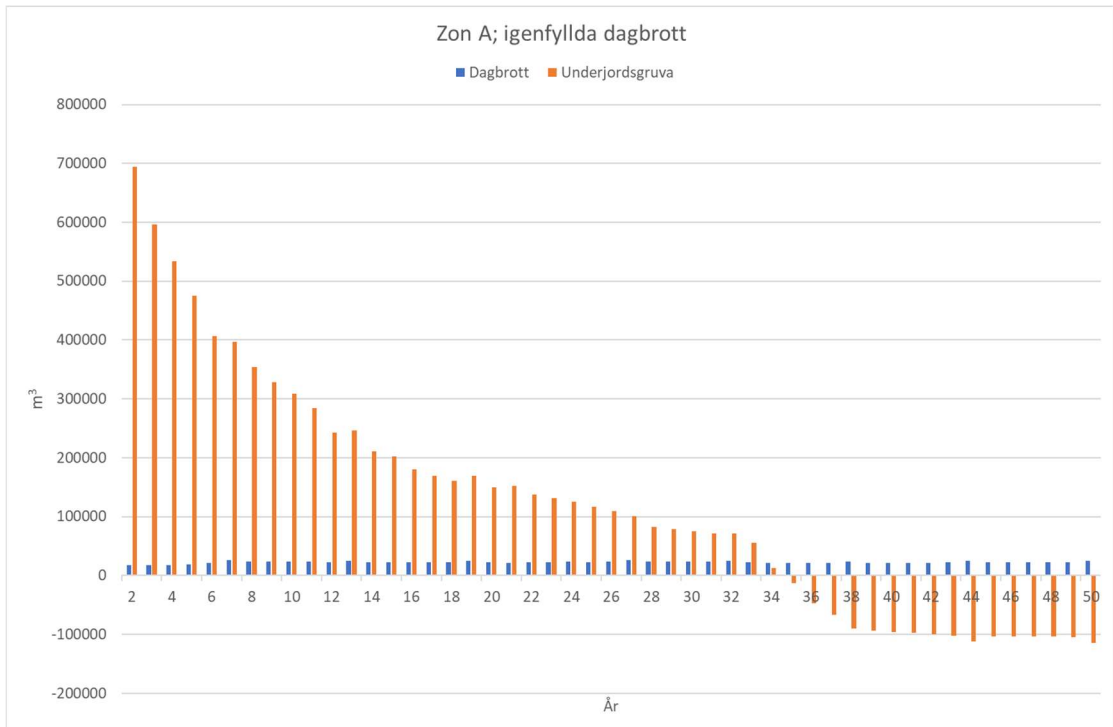
Maanalaisen kaivoksen tulovirtaama noudattaa toista mallia. Molemmista tapauksissa, täytettyjen ja täyttämättömien avolouhosten osalta ja kaikissa malmivyöhykkeissä, pohjaveden tulovirtaama vähenee joka vuosi, kunnes avolouhokset alkavat täyttyä pinta- tai pohjavedestä laskentatapauksesta riippuen. Avoimen avolouhoksen yhteydessä (Figur 11-38, Figur 11-40 ja Figur 11-42) pohjaveden tulovirtaama maanalaiseen kaivokseen noudattaa avolouhoksen dynamiikkaa. Kun veden tulovirtaama avolouhokseen kasvaa niin myös pohjaveden tulovirtaama maanalaiseen kaivokseen kasvaa. Kun veden tulovirtaama avolouhokseen loppuu tai saavuttaa täyden kyllästymisasteen, niin nettotulovirtaama kolmessa malmivyöhykkeessä vaihtelee eri tavoin. A-vyöhykkeelle muodostuu negatiivinen pohjaveden nettovirtaama maanalaiseen kaivokseen. Tämä tarkoittaa, että alueelta poistuu enemmän pohjavettä kuin mitä virtaa sisään. B-vyöhykkeellä nettovirtaama on lähellä nollaa, kun taas D-vyöhykkeellä se kasvaa. Tämä johtuu malmivyöhykkeiden topografisesta sijainnista. A-vyöhyke on eniten ylävirtaan, sitten B-vyöhyke ja D-vyöhyke, joka on topografisesti alimpana. Tämä tarkoittaa, että kun järjestelmä on uudelleen kyllästynyt, pohjavesijärjestelmään muodostuu täysin erilainen dynamiikka kuin kyllästymisjakson aikana. Pääasiallinen virtaussuunta on A-vyöhykkeeltä kohti B- ja D-vyöhykkeitä. B-vyöhyke vastaanottaa vettä A-vyöhykkeeltä ja luovuttaa vettä D-vyöhykkeelle, kun taas D-vyöhyke vastaanottaa vettä lähinnä ympäröiviltä alueilta.

Täytetyn avolouhoksen tapauksessa (Figur 11-39, Figur 11-41, Figur 11-43) ilmenee sama järjestelmän uudelleenkyllästymisen jälkeen. Toisin sanoen vettä tulee D-vyöhykkeeseen ja virtaa ulos A-vyöhykkeeltä, kun taas B-vyöhykkeen nettovirtaama on lähes nolla. Ennen kuin kyllästyminen on saavutettu, malli eroaa hieman, kun avolouhokset ovat avoimia. Avointen avolouhosten tapauksessa havaittavaa dynamiikkaa louhosjärvien täytyessä ei nähdä niiden täyttymisen jälkeen. Sen sijaan tapahtuu pohjaveden tulovirtaaman väheneminen A- ja B-vyöhykkeellä, kunnes järjestelmä on uudestaan vedellä kyllästynyt. D-vyöhykkeellä tulovirtaama on vakaampi, vaikka se vähenee hieman, siihen asti että kaikissa avolouhoksissa on saavutettu kyllästyminen, jonka jälkeen tulovirtaama kasvaa voimakkaasti.

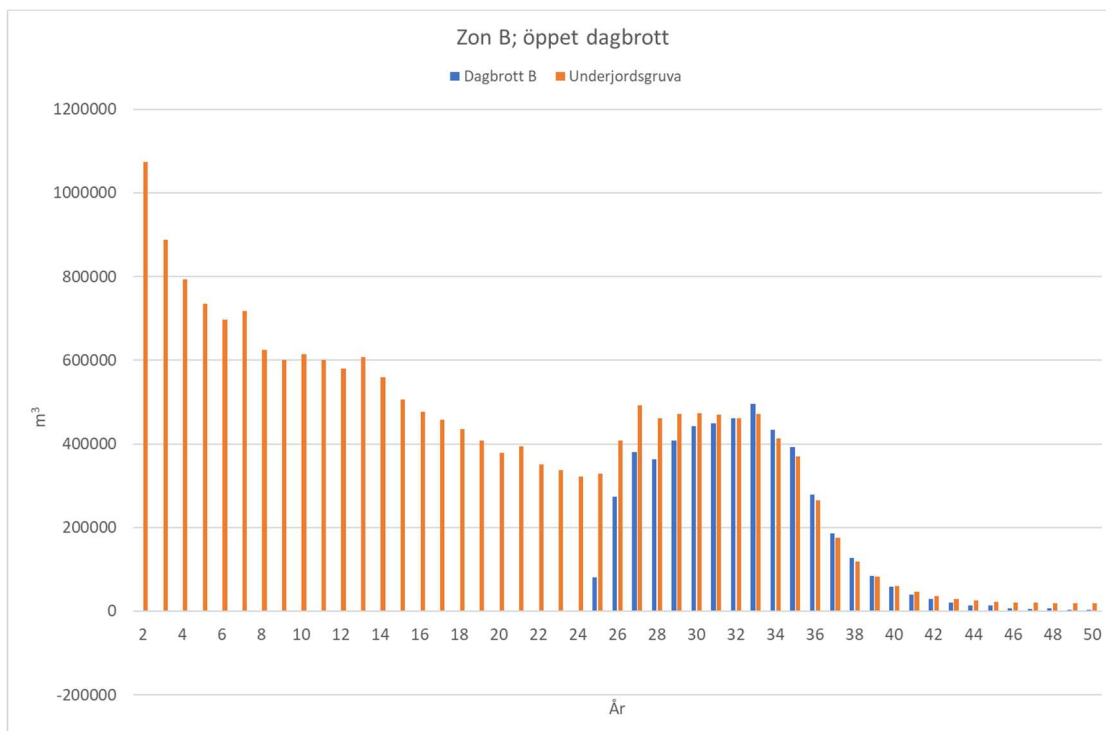
Kokonaisuutena tulovirtaaman dynamiikka maanalaiseen kaivokseen ja avolouhoksiin eroaa suhteellisen paljon riippuen siitä, täytetäänkö avolouhokset hylykivellä vai ei. Pintaa lähellä olevat, dynamiikkaan liittyvät prosessit sadannan ja haihdunnan muodossa tuottavat selvästi suuremman vaikutuksen, jos avolouhoksia ei täytetä. Uudelleenkyllästymisen kokonaisaika ei kuitenkaan ole herkkä sille, täytetäänkö avolouhokset. Kaivoksen suhteellinen topografinen sijainti ja syvyys eri malmivyöhykkeissä vaikuttaa nettovirtaaman suuntaan, kun avolouhosten kynnystaso on saavutettu.



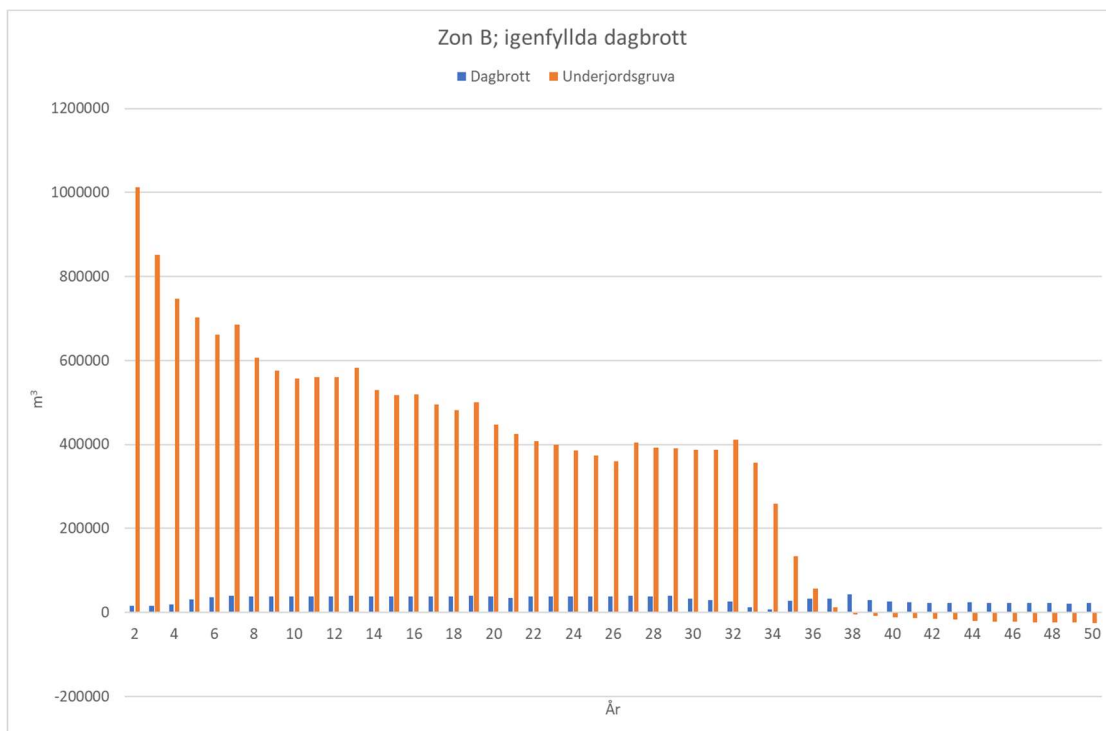
Kuva 11-38. A-vyöhykkeen maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen sisään virtaavien vesien tilavuudet (m³/vuodessa) avoimen avolouhoksen tapauksessa. Jos nettovirtaama on positiivinen, vettä virtaa sisään, ja ulos, kun se on negatiivinen.



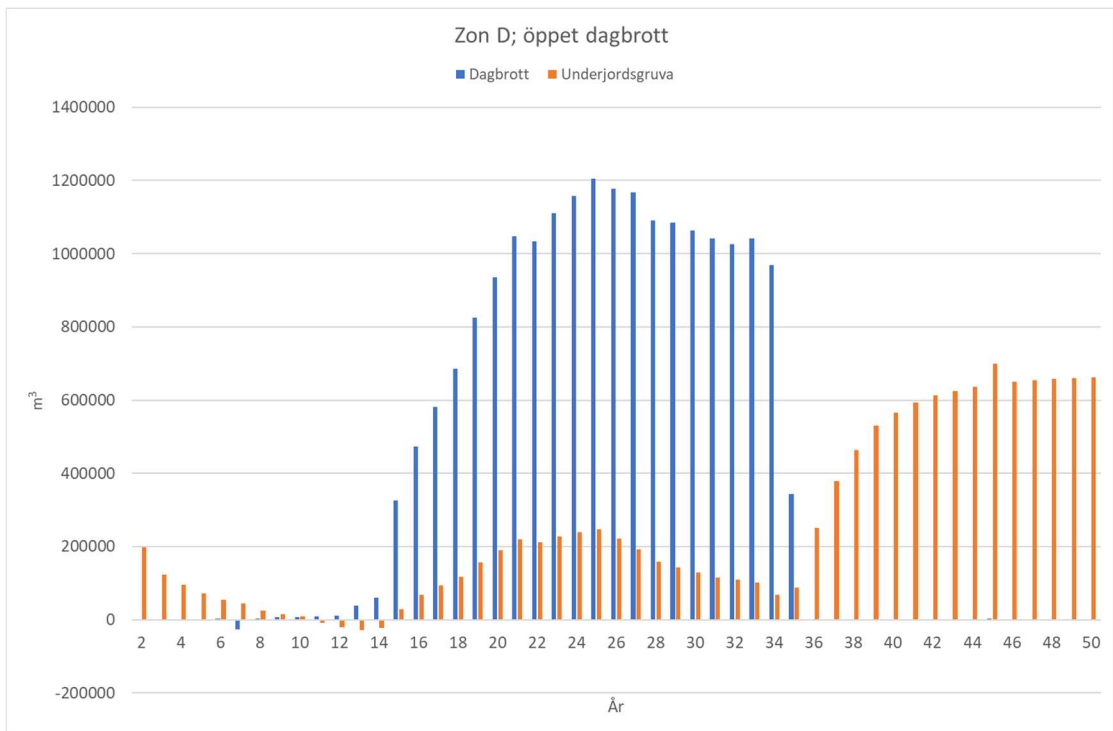
Kuva 11-39. A-vyöhykkeen maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen sisään virtaavien vesien tilavuudet (m³/vuodessa) uudelleen täytetyn avolouhoksen tapauksessa. Jos nettovirtaama on positiivinen, vettä virtaa sisään, ja ulos, kun se on negatiivinen.



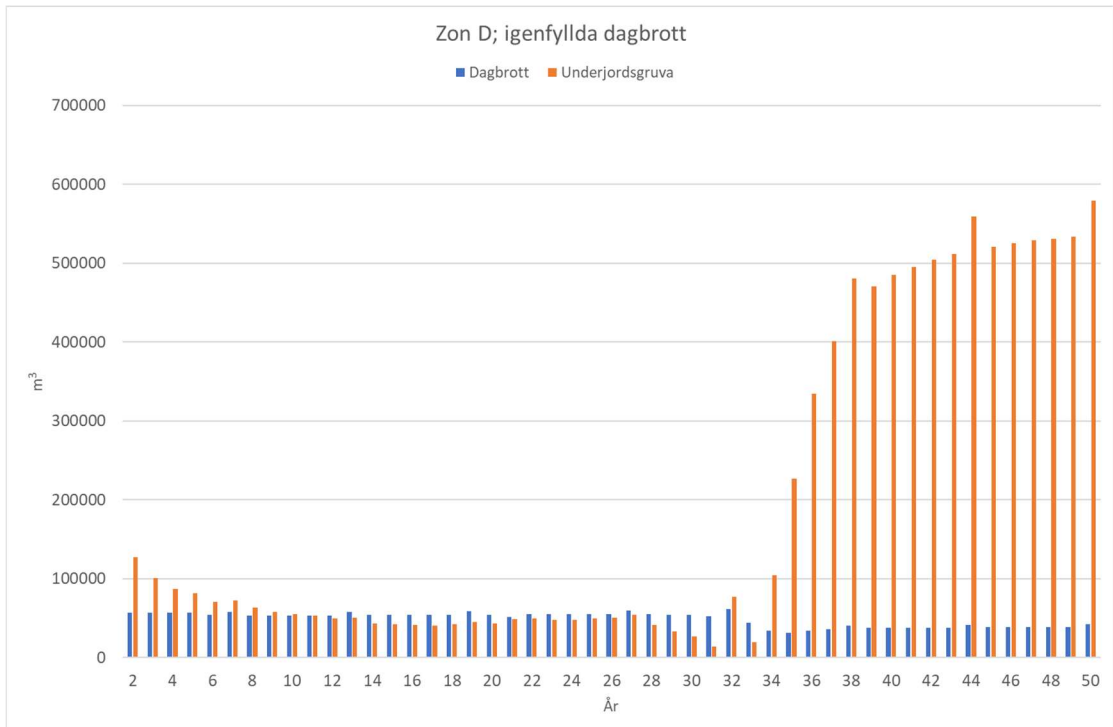
Kuva 11-40. B-vyöhykkeen maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen sisään virtaavien vesien tilavuudet (m³/vuodessa) avoimen avolouhoksen tapauksessa. Jos nettovirtaama on positiivinen, vettä virtaa sisään, ja ulos, kun se on negatiivinen.



Kuva 11-41. B-vyöhykkeen maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen sisään virtaavien vesien tilavuudet (m³/vuodessa) uudelleen täytetyn avolouhoksen tapauksessa. Jos nettovirtaama on positiivinen, vettä virtaa sisään, ja ulos, kun se on negatiivinen.



Kuva 11-42. D-vyöhykkeen maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen sisään virtaavien vesien tilavuudet (m³/vuodessa) avoimen avolouhoksen tapauksessa. Jos nettovirtaama on positiivinen, vettä virtaa sisään, ja ulos, kun se on negatiivinen.

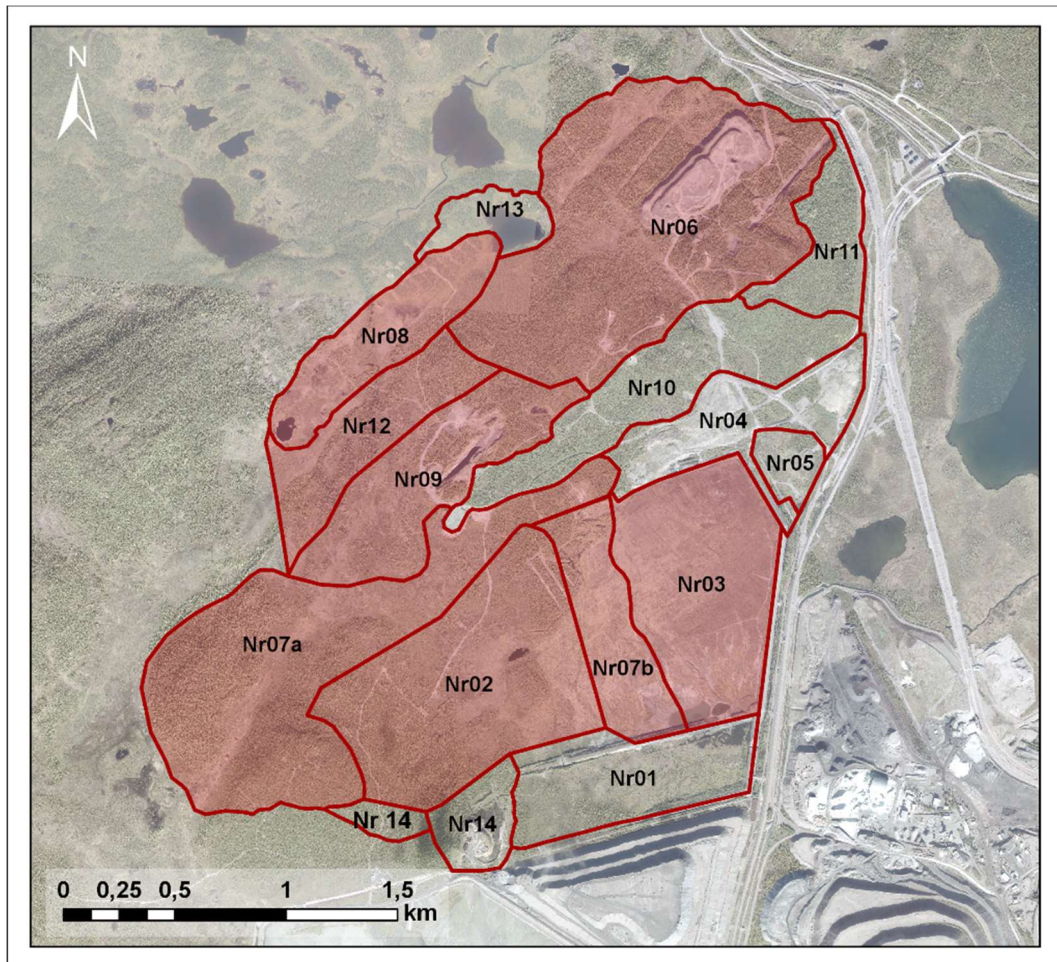


Kuva 11-43. D-vyöhykkeen maanalaiseen kaivokseen ja avolouhokseen sisään virtaavien vesien tilavuudet (m³/vuodessa) uudelleen täytetyn avolouhoksen tapauksessa. Jos nettovirtaama on positiivinen, vettä virtaa sisään, ja ulos, kun se on negatiivinen.

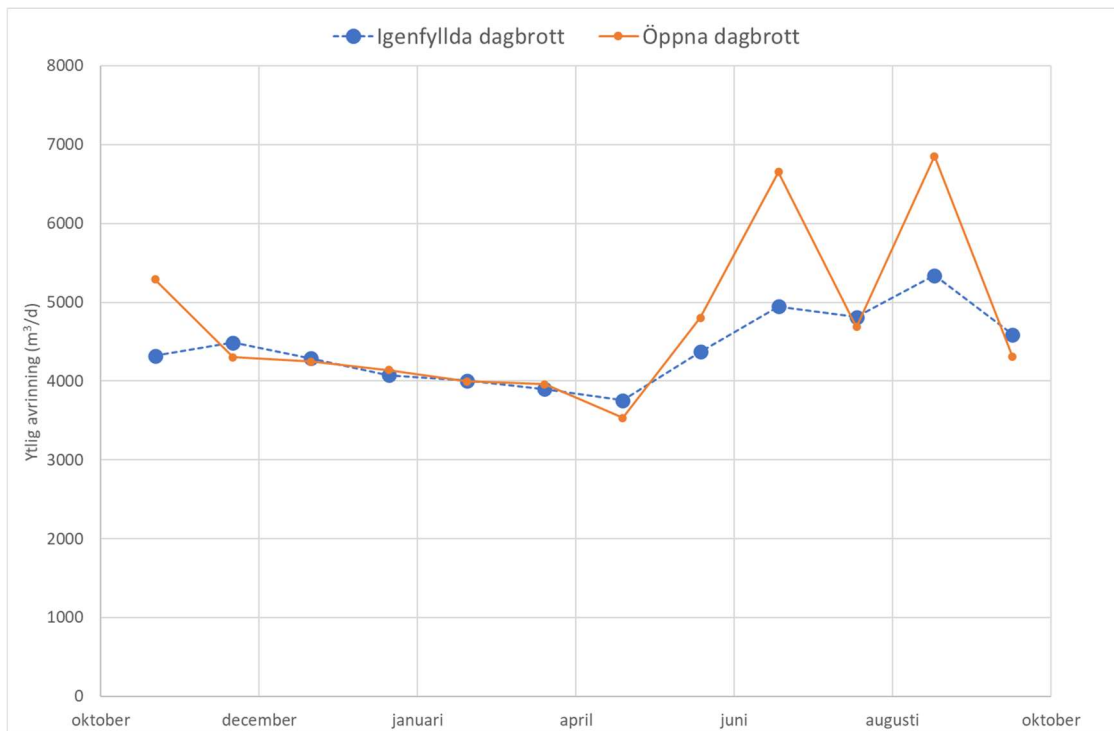
11.3.3 Valuma toiminta-alueelta

Tässä alaluvussa selvitetään valumaa alueelta, kun järjestelmä on uudelleenkyllästynyt. Valuma noin 40 vuotta sen jälkeen kun kaivoksen vedenpoisto on loppunut eli kun järjestelmä on uudelleenkyllästynyt, on laskettu koko alueelle, jonka muodostavat osavaluma-alueet 2, 3, 6, 7, 8, 9 ja 12, Figur 11-44. Ominaisvalumaa (l/s/km²) tältä alueelta on sitten käytetty kunkin osavaluma-alueen valuman arvioinnissa. Syy siihen, että koko alueen valumaa käytetään perusteena eri osavaluma-alueiden valuman arvioinnissa, on se, että tehdyissä laskelmissa ei ole otettu huomioon tietoja siitä, miten pintavesi jatkossa johdetaan alueella. Valuma on esitetty kahdelle laskentatapaukselle avolouhosten kanssa ja ilman niitä ja vain laskelmista muuttumattomilla altaiden määrällä, koska kallioperän altaiden määrä ei vaikuta alueelta tulevaan valumaan järjestelmän uudelleenkyllästymisen jälkeen.

Figur 11-45 näyttää pintavesien kokonaisvaluman toiminta-alueen osista, jotka muodostuvat alueista 2, 3, 6, 7, 8, 9 ja 12. Valuma esitetään avointen ja täytettyjen avolouhosten osalta. Keskimääräinen valuma vuorokaudessa on hieman suurempi avointen avolouhosten yhteydessä ja nousee arvoon 4732 m³/vrk verrattuna arvoon 4409 m³/vrk täytetyissä avolouhoksissa. Varsinkin virtaamahiuput kevättulvan ja myöhäiskesän aikana ovat suuremmat avointen avolouhosten yhteydessä täytettyihin verrattuna. Perusvirtaamat myöhäissyksyllä ja talvella ovat samaa luokkaa molemmissa tapauksissa. Vuosittainen kokonaisvaluma kaikista kuvan Figur 11-44 punaisella merkityistä alueista muunnettuna yksikköön mm/vuosi nousee noin arvoon 420 mm täytettyjen avolouhosten tapauksessa ja arvoon 410 mm avoimissa avolouhoksissa. Tämä on samaa suuruusluokkaa kuin laskettu valuma koko paikallisesta mallialueesta, joka nykyisin on 429 mm.



Kuva 11-44. Kokonaisvaluma on laskettu koko alueelle, jonka muodostavat osavaluma-alueet 2, 3, 6, 7a, 7b, 8, 9 ja 12.



Kuva 11-45. Kokonaisvaluma alueilta 2, 3, 6, 7a, 7b, 8, 9 ja 12 avointen ja täytettyjen avolouhosten tapauksessa.

Ominaisvaluma yhdistetyltä alueelta 2, 3, 7a, 7b, 8, 9 ja 12 nousee arvoon 9,12 l/s/km². Perustuen kunkin osa-alueen pinta-alaan on kullekin osa-alueelle laskettu valuma yksiköllä m³/vrk, katso **Tabell 11-6** ja **Tabell 11-7**. Koska ominaisvaluma koko alueelta on laskelmien perustana, saadaan suurin valuma suurimmasta osa-alueesta (6) ja pienin pienimmästä alueesta (7b). Todelliseen valumaan kultakin alueelta vaikuttaa se, miten ojat muotoillaan sekä miltä alueen topografia näyttää jälkihoidon jälkeen. Tehdyt laskelmat antavat kuitenkin hyvän arvion siitä, miten valuma alueelta vaihtelee hydrologisen normaalivuoden kuluessa sekä siitä, mitä kokonaisvalumaa alueelta voidaan odottaa.

Taulukko 11-6. Valuma eri osa-alueilta 2, 3, 6, 7a, 7b, 8, 9 ja 12 perustuen koko alueen ominaisvalumasta, joka on esitetty kuvassa Figur 11-45. Valuma avoimessa avolouhoksessa.

Alue nro Ala (km ²)	Kaikki alueet	8	12	6	9	2	3	7a	7b
	5,5925	0,345	0,3425	1,415	0,5025	0,8975	0,6675	1,115	0,3075
	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)
Lokakuu	5292	326	324	1339	476	849	632	1055	291
Marraskuu	4303	265	264	1089	387	690	514	858	237
Joulukuu	4248	262	260	1075	382	682	507	847	234
Tammikuu	4142	256	254	1048	372	665	494	826	228
Helmikuu	3999	247	245	1012	359	642	477	797	220
Maaliskuu	3959	244	242	1002	356	635	473	789	218
Huhtikuu	3534	218	216	894	318	567	422	705	194
Toukokuu	4805	296	294	1216	432	771	573	958	264
Kesäkuu	6651	410	407	1683	598	1067	794	1326	366
Heinäkuu	4690	289	287	1187	421	753	560	935	258
Elokuu	6854	423	420	1734	616	1100	818	1367	377
Syyskuu	4307	266	264	1090	387	691	514	859	237
Keskiarvo	4732	292	290	1197	425	759	565	943	260

Taulukko 11-7. Valuma eri osa-alueilta 2, 3, 6, 7a, 7b, 8, 9 ja 12 perustuen koko alueen ominaisvalumasta, joka on esitetty kuvassa Figur 11-45. Valuma uudelleen täytetyssä avolouhoksessa.

Alue nro Pinta-ala (km ²)	Kaikki alueet	8	12	6	9	2	3	7a	7b
	5,5925	0,345	0,3425	1,415	0,5025	0,8975	0,6675	1,115	0,3075
	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)	Valuma (m ³ /d)
Lokakuu	4321	267	265	1093	388	693	516	861	238
Marraskuu	4488	277	275	1136	403	720	536	895	247
Joulukuu	4290	265	263	1085	385	688	512	855	236
Tammikuu	4076	251	250	1031	366	654	487	813	224
Helmikuu	4006	247	245	1014	360	643	478	799	220
Maaliskuu	3902	241	239	987	351	626	466	778	215
Huhtikuu	3754	232	230	950	337	602	448	748	206
Toukokuu	4372	270	268	1106	393	702	522	872	240
Kesäkuu	4946	305	303	1251	444	794	590	986	272
Heinäkuu	4813	297	295	1218	432	772	574	960	265
Elokuu	5344	330	327	1352	480	858	638	1065	294
Syyskuu	4592	283	281	1162	413	737	548	915	252
Keskiarvo	4409	272	270	1115	396	707	526	879	242

12 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä osiossa on yhteenveto tämän tutkimuksen tärkeimmistä johtopäätöksistä. Johdanto-osassa käsitellään yleistä työtapaa ja käsitelmää, minkä jälkeen kahdessa luvussa on koottu pintavesimallinnuksen sekä integroidun pinta- ja pohjavesimallinnuksen johtopäätökset.

- Viscarian alueelle on laadittu integroitu pinta- ja pohjavesimallinnus. Käsitelmä on laadittu tulkitsemalla saatavilla olevaa kartta-aineistoa (maaperäkartta, kasvillisuuskartta, geologiset kartat), tukimalleja (korkeusmalli, maansyvyysmalli, lineamenttimalli), analysoimalla meteorologisten tietojen, pintaveden virtaamien sekä pinta- ja pohjaveden pintojen aikasarjoja sekä kirjallisuustutkimuksella aiemmin tehdyistä tutkimuksista alueella ja sen lähialueilla. Kokonaisuutena tietoaineiston katsotaan olevan oikein hyvä. Käsitelmän pohjalta on tehty useita numeerisia malleja, joita on käytetty erikseen tai yhdessä virtaamien ja pintatasojen kvantifointiin alueen liittyvässä pinta- ja pohjavesijärjestelmässä.
- Hydrologinen tyyppivuosi on määritelty analysoimalla virtaamatiedot alueen vesistöistä. Näiden vuosien meteorologisia tietoja on sitten käytetty ohjaavina tietoina numeerisissa malleissa, jotta voidaan analysoida hydrologis-hydrogeologisen järjestelmän herkkyyttä säävaihteluille. Normaalivuoden korjattu vuotuinen keskimääräinen sadanta on 753 mm/vuodessa ja havaittu valuma Pahtajoesta, joka kulkee Viscarian alueen läpi, on 426 mm/vuodessa. Jos näistä tiedoista lasketaan yleinen paikallinen vesitase eli valuma (R) = sadanta (P) miinus kokonaisevapotranspiraatio (ET), b saadaan todellisen kokonaisevapotranspiraation (ET) arvoksi 327 mm/vuosi, jolloin R/P -suhde on 0,57. Tätä kokonaisvesitasetta on käytetty viitearvona numeeristen mallien alustavassa kalibroinnissa. Numeerisissa malleissa on sitten kvantifioitu lisää komponentteja vesitaseessa ja niiden vuotuiset ja vuosien väliset vaihtelut.

12.1 Pintavesimallinnuksen yhteenveto ja johtopäätökset

- Alueen kvalitatiivinen tarkastelu osoittaa, että pintaveden hydrologiaan on merkittävästi vaikuttanut alueen aiempi ja nykyinen kaivostoiminta. Historiallisten havaintojen sekä ympäristölupahakemuksen valmistelussa tehtyjen mittausten avulla oli mahdollista laatia laadukas pintavesimalli.
- Hydrodynaaminen malli kalibroitiin havaintotiedoilla seuraavista asemista: AVA01, AVA02, AVA14 ja AVA15. Validointitulokset osoittavat, että malli kuvaa mitatut virtaamat hyvin. Tavoitteena on pitää kumuloitunut tilavuusvirhe $+20\%$ puitteissa ja tämä saavutettiin hyvällä marginaalilla kaikille muille paitsi yhden aseman osalta, joka on AVA02. Todennäköisin syy tähän poikkeamaan on, että malli ei voi millään tuottaa niitä validointijakson aikoja, jolloin Luossajärven pintaa säädellään manuaalisesti. Kalibroidut parametriasetukset ekstrapoloitiin sitten menestyksellä mallialueen muille valuma-alueille.
- Vedenlaatuskenaarioiden simulointiin on laadittu kuljetusmalli tekemällä regressioanalyysi vedenlaadunmittausten havainnoille sekä valumamittauksille pintavesimallin alueen aineiden kulkeutumisen dynaamista simulointia varten. Tulokset osoittavat, että kaikissa arvioiduissa mittauspisteissä absoluuttinen keskimääräinen virhe mallinnettujen ja havaittujen pitoisuuksien välillä on seuraavanlainen: Ca: 2,1–26,7 mg/l, Cl: 0,2–12,7 mg/l, Co: 0,0–2,7 µg/l, Cu: 0,2–0,6 µg/l, DOC: 0,6–1,6 mg/l, NO₃: 0,0–1,9 mg/l, SO₄: 0,5–95 mg/l, U: 0,0–2,1 µg/l, Zn 0,6–46 µg/l.
- 2D-leviämismalli kalibroitiin ja sitä käytettiin osaan Rautasjokea sen selvittämiseksi, miten pitkällä alavirtaan, jossa Pahtajoki virtaa jokeen, saadaan täysi sekoittuminen.

Tulokset osoittavat, että täysi sekoittuminen saavutetaan noin 1800m alavirtaan siitä, kun Pahtajoki purkautuu jokeen. Tämän tuloksen vahvisti tulos merkkiainetestillä, joka tehtiin samalle joen osalle.

- Skenaariotulokset viittaavat riskiin sille, että Luossajärven veden taso vaiheessa 1 laskee turvarajan (SG) alle kuivina vuosina, varsinkin jos niitä on kaksi peräkkäin. Tämä riski kasvaa tulevissa vaiheissa sekä vaiheessa 2 että vaiheen 3 kaikissa alivaiheissa, joten järven pinnan lasketaan pysyvän turvarajan alapuolella myös normaalivuosina. Tämä johtuu siitä, että Viscarian toiminta-alueelta tuleva vesi ohjataan pois järvestä vaiheiden 2 ja 3 skenaariosimuloinneissa.
- Siirtymäskenaarioiden simuloinneista saadut tulokset osoittavat, että aineiden Ca, Co, Cu, NO₃, SO₄ pitoisuudet nousevat vaiheesta 1 vaiheeseen 3 laskettuina KVA179:ssä (Rautasjoen luusua). Aineiden Cl, DOC, U ja Zn pitoisuuksien odotetaan sen sijaan alentuvan. Ero tietyissä aineissa, kuten Cl, DOC ja U, on suhteellisen pieni verrattuna vaiheeseen 1. Pitoisuusmuutokset (nousut ja laskut) vaiheiden 1 ja 3 välillä johtuvat suureksi osaksi pohja- ja pintavesien ohjauksesta muualle ja eri reiteille, virtaaman muutoksista kaivoksen poistoveden takia sekä Pahtajokeen kaivosvaiheen aikana päästettävän poistoveden erilaisista pitoisuuksista. Joihinkin aineisiin (esim. Zn) vaikuttavat myös kosteikkoprosessit.

12.2 Integroidun pinta- ja pohjavesimallinnuksen yhteenveto ja johtopäätökset

- Viscarian alueen hydrologis-hydrogeologiseen järjestelmään vaikuttaa sekä Kirunavaaran kaivoksen (LKAB) meneillään oleva toiminta sekä Viscarian kaivoksen aiempi kaivostoiminta. Oletus siitä, että topografiset vedenjakajat ohjaavat pinta- ja pohjavettä, ei siten päde koko alueella, koska on otettava huomioon pohjaveden tason lasku varsinkin kallioperässä sekä pintaveden uudelleen ohjaaminen. Tämä on otettu huomioon integroidun pinta- ja pohjavesimallinnuksen mallialueen rajauksessa. Kiirunavaaran kaivoksen alueellinen malli, jossa on yksinkertaisempi valumaprosessien kuvaus ja painopiste kyllästyneen alueen yleisessä virtauskentässä, on laadittu tarkoituksena analysoida Kiirunavaaran kaivoksen mahdollista vaikutusta Viscarian alueeseen. Alueellinen malli antaa sitten reunaehdot paikalliseen Viscarian alueen malliin, jossa on tehty tarkempia analyysejä pohjaveden dynamiikasta ja sen vuorovaikutuksesta pintaveden ja kyllästymättömän vyöhykkeen kanssa.

Alueellisen mallin tulosten mukaan Kiirunavaaran kaivoksen ei arvioida vaikuttavan vapaan pohjaveden pinnankorkeuteen Viscarian alueella. Vaikutusalue kallioperän pohjaveden pinnan suhteen on kuitenkin suurempi ja ulottuu Viscarian alueen paikalliseen mallialueeseen.

- Tietoperusta Viscarian aluetta paikallisesti kuvaavaa hydrologis-hydrogeologista mallia varten on oikein hyvä, vaikka pitkien aikasarjojen saatavuus havaituista pinta- ja pohjavesitasoista on rajallinen. Aiemmat tutkimukset maa- ja kallioperässä, jotka tehtiin Viscarian kaivoksen käytön tai aloitetun ympäristölupaprosessien yhteydessä, muodostavat maanmittauslaitoksen, LKAB:n ja SMHI:n karttamateriaalin kanssa tärkeän perustan paikalliselle hydrologiselle ja hydrogeologiselle kuvaukselle.

Integroitu pinta- ja pohjavesimallin on kalibroidu havaittujen pintavesivirtaamien ja pohjavesitasojen kanssa kaudelta 1.10.2017–30.9.2020. Koska Viscarian kaivoksen paikallisen alueen tietopohja pohjavesihavaintojen pidempien aikasarjojen osalta on rajallinen, on suuri painoarvo asetettu herkkyysanalyyseille mallin herkkyyden tutkimiseksi maa- ja kallioperän erilaisten ominaisuuksien osalta. Yhteensä on tehty

yli 130 yksittäistä simulointia, joissa mallin eri parametreja on järjestelmällisesti muutettu kohtuullisissa fysikaalisissa rajoissa.

- Yleisesti ottaen integroidussa pinta- ja pohjavesimallissa on valumaa vesistöihin aliarvioitu. Aikasarjat paikallisista havainnoista eivät ole riittävän pitkät kaikkien asemien osalta, jotta niitä voisi täysin käyttää kalibroidun mallin arvioinnissa. Asemista AVA01, AVA02 ja AVA15 on pisimmät aikasarjat ja siksi niitä on käytetty sen arviointiin, ovatko kalibroitivaatimukset täyttyneet. Tavoitteena oli saavuttaa kalibroitijaksolta kokonaistilavuuden virhe, joka ei ole yli ± 20 % havaintoihin verrattuna. Tämä saavutettiin asemissa AVA01 ja AVA02, joiden tilavuuden virhe on -18 %. Aseman AVA15 virhe on suurempi, -36 %. Syy puuttuvaan tilavuuteen tässä kohdassa johtuu luultavasti siitä, että jäätymistä ja routimisprosesseja ei ole sisällytetty mallin nykyiseen versioon.
- Suurin osa paikan pohjavesihavainnoista saadaan tiedoista kallioperän avoimista kairausrei'istä. Havaintojen ja mallin tulosten välillä on vaikea tehdä tarkkaa vertailua, koska avoimen reiän pinta kuvastaa yhdistettyä kuvaa pohjaveden tasoista koko reiän pituudelta, ja mallin tulos täytyy suhteuttaa mallin pystyresoluutioon. Mallin pystyresoluutio huomioiden on mallin pohjavesitasojen kuitenkin tarkoitus kuvastaa niitä tasoja, joita kairausrei'issä havaitaan. Kallioperän pohjaveden pinta Peuravaaran yläpuolella vaihtelee ja paikallisesti korkeammalla kuin nykyisin vedellä täyttyneen kaivoksen arvioitu tyhjennystaso. Malli kuvaa tämän vaihtelun Peuravaaran yläpuolella ja tuottaa myös veden tason nykyisessä vedellä täyttyneessä kaivoksessa, joka on romahtanut koillisimmasta osastaan. Tässä kaivoksen osassa veden taso sijaitsee noin 510 m merenpinnan yläpuolella. Laskennallinen taso kalibroidussa mallissa on 509,4 merenpinnan yläpuolella.

Ne havainnot pohjaveden tasoista maaputkissa, jotka olivat saatavilla kalibroinnissa, täsmäävät hyvin laskettuihin arvoihin. Kalibroinnin jälkeen maaperän pohjaveden tasojen tietopohjaa täydennettiin. Näiden uusien havaintojen avulla tarkistettiin, kykenikö malli tuottamaan pohjaveden tasot kohdissa, joita ei ollut mukana kalibroinnissa. Lasketut pohjaveden tasot näissä uusissa kohdissa täsmäsivät oikein hyvin havaittuihin tasoihin, ja laskemallinen keskivirhe oli pieni.

Tärkeä osa kalibrointia oli simuloida nykyisin vedellä täyttyneen kaivoksen tyhjennystä ja laskea tulovirtaama kaivokseen. Malli tuottaa tulovirtaaman, joka täsmää hyvin niihin havaintoihin nostetusta vedestä, joita tehtiin kaivoksen toiminnan aikana, mikä lisää luottamusta malliin.

- Kokonaisuutena kalibroidun mallin katsotaan antavan hyvän kuvan alueen integroidusta pinta- ja pohjavesidynamiikasta. Vaikka toiminta-alueelta puuttuu pitkiä aikasarjoja pohjaveden tasoista, niin kattava tietopohja aiemmista ja äskettäin tehdyistä tutkimuksista sekä meneillään olevasta pohjaveden tasojen valvonnasta, joka käynnistettiin hankkeen alussa, muodostaa oikein hyvän perustan käsitemallin tuottamiseksi alueen hydrologiasta ja hydrogeologiasta. Numeerisessa mallissa on sitten testattu käsitemallissa tehdyt oletukset. Numeerisen mallin laajalla herkkyysanalyysillä on voitu muodostaa hyvä paikallinen ymmärrys. Tämä paikallinen ymmärrys ja numeerinen malli tarjoavat alustan tehdyille skenaariolaskelmille, joiden tarkoituksena on arvioida tulevan kaivostoiminnan vaikutus ympäröivään alueeseen.
- Kalibroidulla mallilla on simuloitu eri vaiheita: nykytilannetta (vaihe 1), nykyisen maanalaisen kaivoksen tyhjennystä (vaihe 2), kaivoksen laajennuksen eri vaiheita ja alueen muotoilua vaiheessa 3 (vaiheet 3:30%, 3:70% ja 3:100%) sekä uudelleenkyllästyneisyyden kulkua kaivoksen sulkemisen jälkeen (vaihe 5).
- Vaiheen 3 kaikissa alivaiheissa pohjaveden pinnan tasoon suurin vaikutus on kaivoksen läheisyydessä, ja kaivoksen ympärillä voi paikallisesti tapahtua suurta pohjaveden pinnan laskua. Vajoaminen leviää osittain koillis-lounaissuunnassa, osittain luoteis-kaakkoissuunnassa kaivoksen kanssa kosketuksissa olevia

lineamentteja pitkin. Pienempiä etäällä kaivoksesta olevia alueita, joissa pohjaveden pintaan kohdistuu suuri vaikutus, on ennen kaikkea sisäänvirtausalueilla. Sisäänvirtausalueet ovat yleisesti herkempiä pinnan laskulle kuin ulosvirtausalueet, koska tuleva pintapohjavesi voi ulosvirtausalueilla kompensoida syvemmän kallioperän aiheuttamaa vaikutusta. Sisäänvirtausalueilla sijaitsevat vaikutusalueet ovat yhteneväisiä sellaisten alueiden kanssa, joilla pohjavesi sijaitsee häiriintymättömissä olosuhteissa suhteellisen syvällä. Osia alavammista alueista Peuravaarasta pohjoiseen ja koilliseen jää myös vaikutusalueelle. Pinnan lasku näillä alavilla alueilla on yleensä vähäisempi ja 0,1–1 m välillä. Ne topografiaan liittyvä lähteet, joita on Eatnamvarrin ja Soahkevarrin rinteillä, eivät arvion mukaan ole tulevan kaivostoiminnan vaikutusalueella. Näitä lähteitä syöttää pintapohjavesi, joka virtaa alas pitkin tuntureiden rinteiden ohuita maakerroksia. Tähän pintapohjavesijärjestelmään ei arvioida vaikuttavan pinnan lasku kallioperän syvemässä pohjavesijärjestelmässä.

- Tulovirtaama kaivoksille ja avolouhoksille vaihtelee ympäri vuoden ja saavuttaa korkeimman tasonsa lumen sulamisen yhteydessä. Tulovirtaama kasvaa vaiheessa 3 ollen alimmillaan vaiheessa 3:30 ja korkeimmillaan vaiheessa 3:100%. Virtaaman huipussa avolouhoksessa on siirtymä maanalaiseen kaivokseen verrattuna. Avolouhoksissa suurin tulovirtaama tapahtuu noin kuukausi ennen maanalaisen kaivoksen suurinta tulovirtaamaa. Sekä maanalaisen kaivoksen että avolouhosten tulovirtaama vaihtelee kesäaikaan ja laskee sitten tasaisesti lokakuusta huhtikuuhun ulottuvalla kaudella. Suurin yksittäinen tulovirtaama avolouhokseen muodostuu D-vyöhykkeellä ja suurin tulovirtaama maanalaiseen kaivokseen B-vyöhykkeellä. Vaikka lasketussa tulovirtaamassa on vaihtelua normaalin, kuivan ja kostean vuoden välillä, on herkkyys sään vaihteluille suhteellisen pieni. Kaivoksen muodolla ja laajuudella on suurempi vaikutus sisään vuotoon kuin säällä.
- Maanalaisten kaivosten ja avolouhosten uudelleen kyllästymiseen kuluu noin 40 vuotta. Palautumisaika on samaa suuruusluokkaa sekä avointen että täytettyjen avolouhosten tapauksessa. Kokonaisvaluma alueelta on hieman suuri silloin kun avolouhokset jäävät avoimiksi. Virtaamahuiput kevättulvien ja syyssateiden aikaan ovat suuremmat, kun taas perusvirtaama on sama näissä kahdessa tapauksessa.

13 Viitteet

Ala-Aho P, Autio A, Bhattacharjee J, Isokangas E, Kujala K, Martiila H, Menberu M, Meriö L-J, Postila H, Rauhala A, Ronkanen A-K, Rossi PM, Saari M, Torabi Haghighi A, Kløve B. 2021. What conditions favour the influence of seasonally frozen ground on hydrological partitioning? A systematic review. *Environmental Research Letters*, 16, 043008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe82c>

Banverket. 2009. Kiruna ny järnväg JP02, delen Kimit-Viscaria, Utställningshandling. Tekniskt PM Hydrogeologi, JP02-13-010-02. Banverket.

Berglund S, Bosson E, Sassner M. 2013. From site data to safety assessment: analysis of present and future hydrological conditions at a coastal site in Sweden. *Ambio*, 42(4):425-34. doi: 10.1007/s13280-013-0394-6.

Bergström S. 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI Norrköping, Report RH07.

Bosson E, Selroos J-O, Stigsson M, Gustafsson L-G, Destouni G. 2012a. Exchange and pathways of deep and shallow groundwater in different climate and permafrost conditions using the Forsmark site, Sweden, as an example catchment. *Hydrogeology Journal* 21, 225–237. <https://doi.org/10.1007/s10040-012-0906-7>

Bosson E, Sabel U, Gustafsson L-G, Sassner M, Destouni G. 2012b. Influences of shifts in climate, landscape, and permafrost on terrestrial hydrology. *Journal of Geophysical Research*, 117(D05120):12. doi:10.1029/2011JD016429

Chow VT. 1959. Open Channel Flow. McGraw-Hill Book Company: Singapore

DHI. 2021a. MIKE HYDRO River - Comprehensive river network modelling: User Guide. DHI A/S, Horsholm, Denmark.

DHI. 2021b. MIKE 21 - A hydrodynamic flow model: User Guide. DHI A/S, Horsholm, Denmark.

DHI. 2021c. MIKE SHE - An Integrated Hydrological Modelling System: User Guide. DHI A/S, Horsholm, Denmark.

DHI. (2021d. MIKE URBAN - Integrated urban modelling: User Guide. DHI A/S, Horsholm, Denmark.

DHI. 2022. Hydrologisk och hydrogeologisk utredning Malmberget: Integrerad yt- och grundvattenmodellering med MIKE SHE. *in prep.*

Eriksson B. 1981. Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige. RMK 28, RHO 27. SMHI.

Ericsson LO, Holmén J. 2010. Storregional grundvattenmodellering - en känslighetsstudie av några utvalda konceptuella beskrivningar och förenklingar. SKB R-10-43. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., and Brooks, N. H. 1979. Mixing in inland and coastal waters. Academic, New York, 104–138.

Geosigma/Intera. 2013. Site-wide hydrogeology investigation at LKAB Kiruna iron ore mine. Grap 12238.

Geosigma. 2017. Uppdatering av det hydrogeologiska kunskapsläget kring Kiruna underjordsgruva (KUJ). Grap 17052.

Geosigma. 2018. Hydrogeologiska förutsättningar samt yt- och grundvattenmodellering Kiruna underjordsgruva. Grap 17264.

- Geosigma. 2021. Provpumpningar och kompletterande inmätning, Viscaria. GRAP 21407.
- Golder Associates. 2011. Viscaria Copper Project. Existing tailings facility geotechnical investigation. Rapport framtagen för Avalon Minerals Ltd.
- Golder Associates. 2016. Viscaria D-zone. Packer testing. Rapport framtagen för Avalon Minerals Ltd.
- Godsey S E, Kirchner J W, and Clow D W. 2009. Concentration–discharge relationships reflect chemostatic characteristics of US catchments. *Hydrological Processes*, 23, 1844-1864. <https://doi.org/10.1002/hyp.7315>
- Graham DN and Butts MB. 2005. Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE. In: Singh V P, Frevert D K (eds). *Watershed models*. Boca Raton: CRC Press, pp 245-272.
- Gray D. 2015. Viscaria Cu deposit and Avalon Northern Sweden. Tenements structural review. Rapport framtagen för Avalon Minerals Ltd.
- Jutebring Sterte E, Johansson E, Sjöberg Y, Huseby Karlsen R, Laudon . 2018. Groundwater-surface water interactions across scales in a boreal landscape investigated using a numerical modelling approach. *Journal of Hydrology*, 560, pp. 184-201. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.011>
- Jutebring Sterte E, Lidman F, Lindborg E, Sjöberg Y, Laudon H. 2021. How catchment characteristics influence hydrological pathways and travel times in a boreal landscape. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 2133-2158. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2133-2021>
- Karltorp K. 2008. Miljöpåverkan från gruvindustrin. Andra AP-fonden och AP-fondernas Etikråd. Göteborg.
- Krekula S. 2021. RIKTLINJER GRUNDVATTENMODELLERING – GRUVA. Copperstone Viscaria AB.
- Lidman, F., Köhler, S. J., Morth, C.-M., Laudon, H. 2014. Metal transport in the boreal landscape – the role of wetlands and the affinity for organic matter. *Environmental Science & Technology*, <https://doi.org/10.1021/es4045506>.
- Lindström G, Johansson B, Persson M, Gardelin M, Bergström S. 1997. Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model. *Journal of hydrology*, 201(1-4), 272-288. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00041-3)
- Lindqvist D. 1993. Framtida vattenbalans för Viscaria gruva. Viscaria Rapport 1993-05-05 93-2.
- Mark & Miljö Hydrosense. 2011a. PM Hydrogeologi Viscaria koppargruva, Kiruna kommun. Göteborg.
- Mark & Miljö Hydrosense. 2011b. Hydrogeologiska undersökningar vid Viscariagruvan. Göteborg.
- Martinsson O. 1997. Tectonic setting and metallogeny of the Kiruna Greenstones. Ph. D. Thesis 1997:19, Luleå Tekniska Universitet, Sweden. 49 p.
- Matagi, S., Swai, D., Mugabe, R. 1998. A review of heavy metal removal mechanisms in wetlands. *African Journal of Tropical Hydrobiology and Fisheries*, 8, 23-35.
- Mattsson H, Berglund J, Magnor B. 2010. Strukturgeologisk modell över Kiruna gruvområde. 10–874. Rapport framtagen för LKAB.

Mattsson H. 2020. Viscaria Lineament interpretation. GVR20038. Rapport framtagen för Copperstone Viscaria AB.

Mohammed A., Babatunde A.O. 2017. Modelling heavy metals transformation in vertical flow constructed wetlands. *Ecological Modelling*, 354, 62-71, ISSN 0304-3800, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.03.012>.

Mårtensson E, Gustafsson L-G. 2010. Hydrological and hydrogeological effects of an open repository in Forsmark. Final MIKE SHE flow modelling results for the Environmental Impact Assessment. SKB R-10-18. Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) Stockholm Sweden.

Nordqvist R. 2020. Status of hydrological and hydrogeological sitewide information in the Viscaria mining area - August 2020. KRN Consulting AB.

Oliver N. 2017. Assessment of the geophysical datasets. Rapport framtagen för Avalon Minerals Ltd.

Petrone J. 2021. Framtagande av jorddjup och jordlager kring Viscariagruvan, Kiruna. Rapport framtagen för Copperstone Viscaria AB.

Pratt W. 2020. Structural studies at the Viscaria copper deposit, Kiruna, Sweden. Rapport framtagen för Copperstone Viscaria AB.

SGU. 2017. Rapportering av regeringsuppdrag: kunskapsunderlag om grundvattenbildning och grundvattentillgång i Sverige. SGUs diarie-nr: 21-2925/2016 RR 2017:09

SGU. 2020. Gruvor och miljöpåverkan (2020-03-02). Noudettu osoitteesta <https://www.sgu.se/mineralnaring/gruvor-och-miljopaverkan/> (2022-02-18)

Sweco. 2016. Hydrogeologisk och miljökemisk utredning inför kommande sidobergsdeponi nordväst om sandmagasinet i Kiruna. Rapport framtagen för LKAB: uppdragsnummer 1673821000.

VDM. 2020. Inmätning av sjöar och vattendrag kring Viscariagruvan. VDM AB. Rapport framtagen för Copperstone Viscaria AB.