
PM

LÖVSTA KVV

PM GRUNDVATTENMODELL



UNDERLAG TILL SVAR PÅ REMISSYTTRANDEN,
TILSTÅNDSANSÖKAN FÖR LÖVSTA KVV

2021-10-06

SWECO SVERIGE AB

SKAPAD AV ANNA HJERTMAN

GODKÄND AV KATJA FEDOROVA

Ändringsförteckning

VER.	DATUM	VERSIONEN AVSER	GRANSKAD	GODKÄND
1	2021-09-29	Arbetsmaterial	Thomas Holm	TA, UL
2	2021-10-06	Slutversion	Thomas Holm /Niklas Ekstrand	TA, UL

Sweco
Vasagatan 12

SE 722 15 Västerås,
Telefon

www.sweco.se

Sweco Sverige AB
RegNo: 556767-9849
Styrelsens säte: Stockholm

Katja Fedorova
Uppdragsledare

Mobil +46 70 879 28 80
katja.fedorova@sweco.se

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Omfattning och syfte	1
2	Underlag	1
3	Konceptuell modell	2
4	Numerisk modell	4
4.1	Programvara	4
4.2	Modellområde och grid	5
4.3	Topografi	5
4.4	Beräkningslager	6
4.5	Randvillkor	8
4.6	Observationspunkter	9
5	Kalibrering	12
5.1	Kalibrering av grundvattennivåer	12
5.2	Enkel känslighetsanalys	12
6	Validering	12
7	Simulering av scenarion	13
7.1	Scenario 1 med avskärande dränerande dike	13
7.2	Scenario 2 med avskärande dränerande dike och tätskärm	14
7.3	Scenario 3 med avskärande dränerande dike och begränsad utbredning av tätskärm	14
8	Resultat	15
8.1	Kalibrering	15
8.1.1	Hydraulisk konduktivitet	15
8.1.2	Grundvattenbildning	16
8.1.3	Beräknade och observerade grundvattennivåer	16
8.1.4	Vattenbalans	17
8.1.5	Enkel känslighetsanalys	18
8.2	Validering	18
8.3	Simulering av scenarion	20
8.3.1	Scenario 1 med avskärande dränerande dike	20
8.3.2	Scenario 2 med avskärande dränerande dike och tätskärm	22
8.3.3	Scenario 3 med avskärande dränerande dike och begränsad utbredning av tätskärm	23
9	Diskussion och slutsatser	25

PM GRUNDVATTENMODELL
2021-10-06
UNDERLAG TILL SVAR PÅ REMISSYTTRANDE,
TILSTÅNDSANSÖKAN FÖR LÖVSTA KVV

1 Inledning

Stockholm Exergi AB har lämnat in en ansökan om miljötillstånd för ett nytt kraftvärmeverk i Lövsta hos mark- och miljödomstolen vid Nacka tingsrätt. Remissperioden för ansökan är avslutad. Arbete pågår med att besvara till mark- och miljödomstolen inkomna remissyttranden.

Denna PM är en del av Swecos uppdrag gentemot Stockholm Exergi AB och utgör ett underlag till besvarande av remissyttranden.

En detaljerad bakgrund samt hydrogeologiska förutsättningar av Lövsta deponiområde beskrivs i av *PM Förorenad mark och hydrogeologi. Lövsta kvv/mark och va. Underlag till tillståndsansökan och detaljplan. 2020-08-21 (Sweco, 2020)*.

1.1 Omfattning och syfte

Syftet med grundvattenmodellen som presenteras i föreliggande PM är att skapa en kalibrerad modell med en rimlig vattenbalans som kan användas för ett antal scenariosimuleringar.

Specifikt i detta skede har grundvattenmodellen använts för att studera hur förorenings spridning till Mälaren kan förhindras genom att anlägga tätskärm och avskärande dränerande dike i gränsen mellan Mälaren och anläggningsområdet.

Modellen ska i framtiden även kunna fungera som ett verktyg för att:

- beräkna och besvara ev. hydrogeologiska frågor som uppkommer i projektet.
- ge underlag till teknikområdet förorenade områden genom att till exempel beräkna vattenbalans, bedöma spridningsvägar och föroreningstransport.
- hantera praktiska frågeställningar, t.ex. pumpinsats, länshållningsflöde, influensområde m.m., vid grundläggning under grundvattenytan.
- kvantifiering av effekten av föreslagna saneringsåtgärder på utsläpp i framtiden.

2 Underlag

Höjder anges i höjdsystem RH2000. I plan har referenssystem SWEREF 99 18 00 använts. Underlag för modellarbetet har utgjorts av:

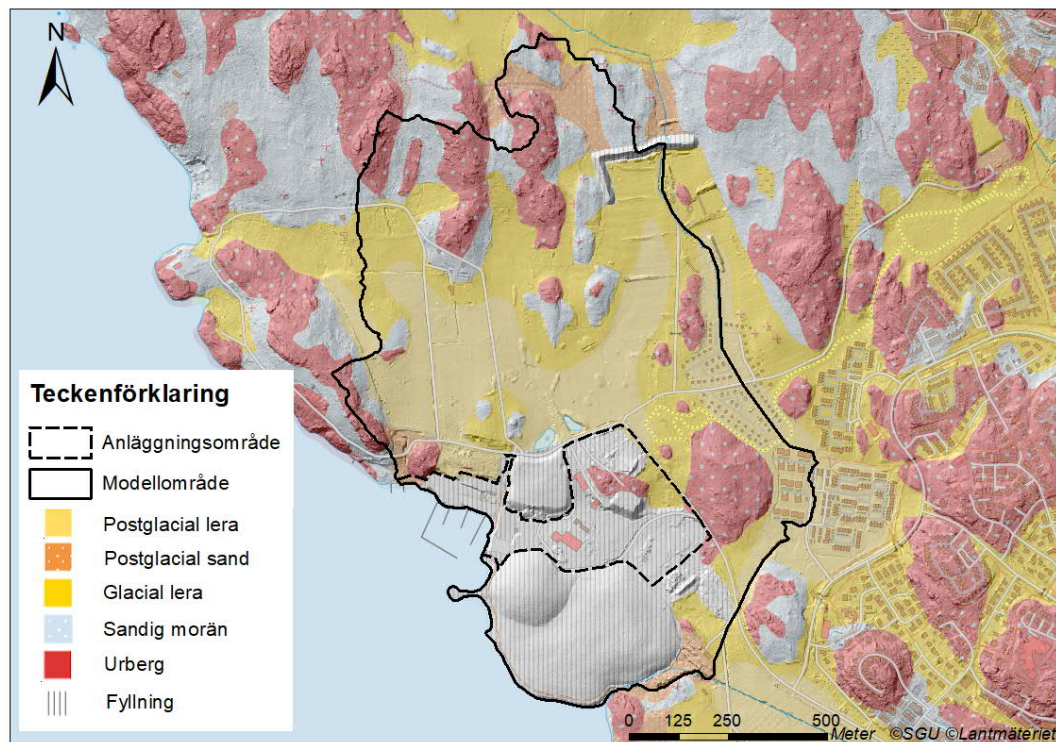
- Utförda borrhningar i och kring anläggningsområdet
- Grundvattennivåmätningar
- Tidigare sammanställda utredningar
- Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), jordarts-, jorddjups- och berggrundskartor
- Lantmäteriet, höjddata 2+ grid

3 Konceptuell modell

Den konceptuella modellen är en förenklad beskrivning av de verkliga hydrogeologiska förhållandena. Syftet är att beskriva geometrin på hydrologiska enheter och deras hydrogeologiska egenskaper samt relevanta randvillkor hos grundvattensystemet och därmed utgöra grunden för den numeriska modellen.

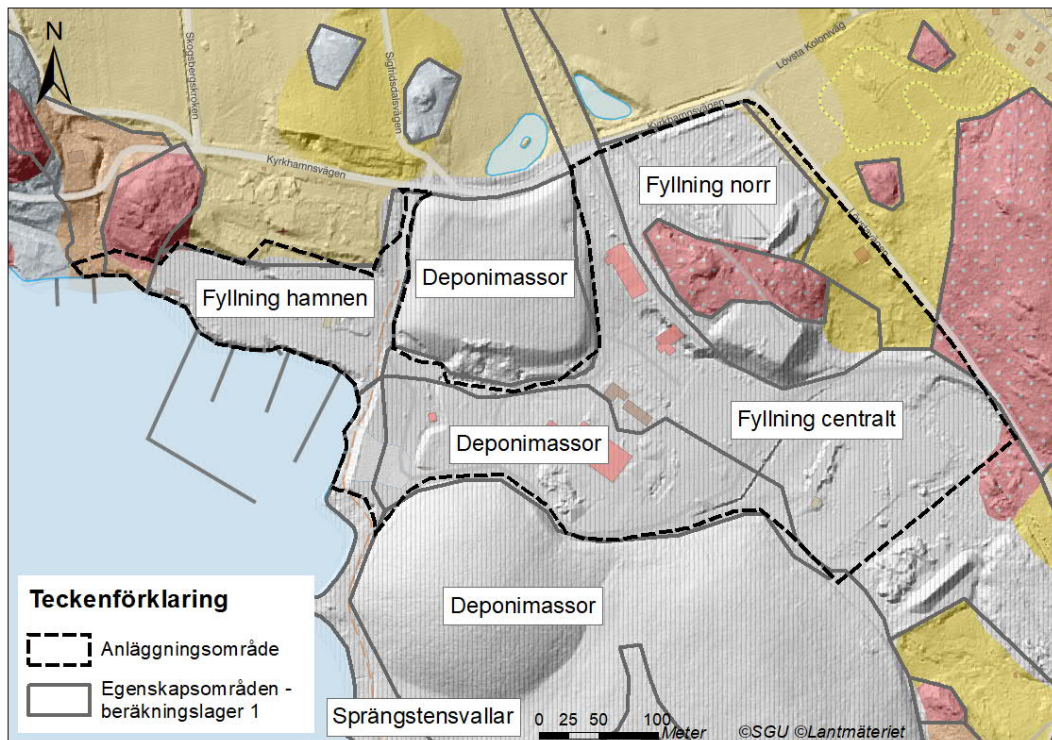
Anläggningsområdet i Lövsta är lokaliserat på gammal industrimark som generellt består av deponimassor och fyllnadsmassor. Deponering har även skett ut i Mälaren och anläggningsområdet är därmed delvis lokaliserat utanför gamla strandlinjen.

Borrningar inom anläggningsområdet visar på ett mindre mäktigt lager av friktionsmaterial ovan berggrunden, troligen liknande den sandiga morän som förekommer runt om anläggningsområdet på höjder i jordartskartan (Figur 1).

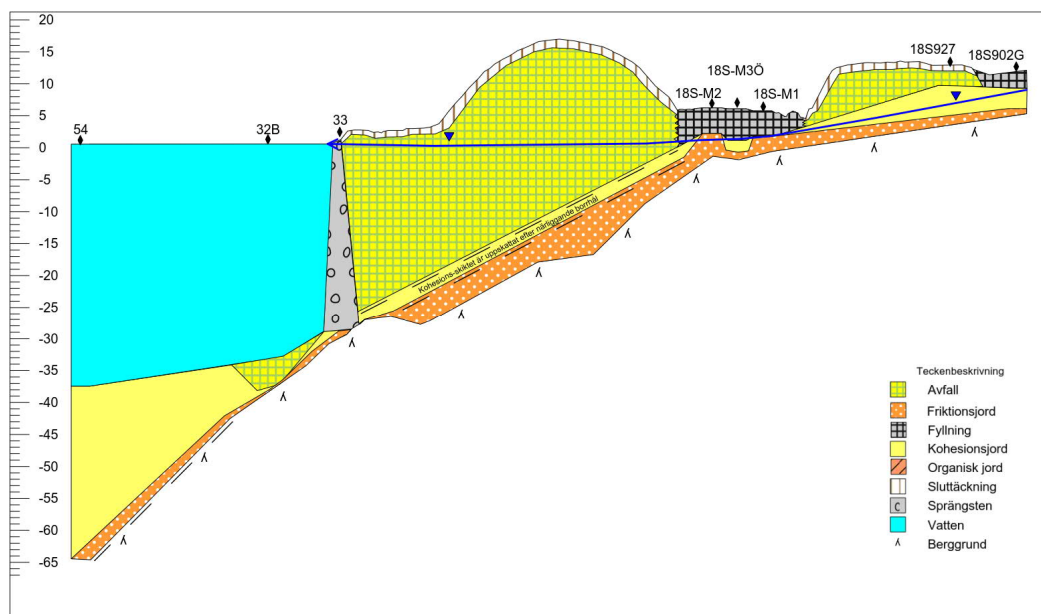


Figur 1. Anläggningsområdet och modellområdet med jordartskartan som bakgrund.

Detta överlagras ställvis av ett mindre genomsläppligt lerlager, som även detta återfinns som den ytligaste jordarten i stora delar av området runtomkring. Ovan leran har deponering skett av olika material på olika områden (Figur 2). Deponierna består av mycket heterogena massor, vilket återspeglas i uppmätta grundvattennivåer i observationspunkter i anläggningsområdet och dess närhet. De gamla deponierna har blivit sluttäckta och det finns även hårdgjorda ytor inom anläggningsområdet. Utanför deponierna mot Mälaren förhindrar en mycket genomsläpplig sprängstensvall de deponerade massorna från att rasa ner i Mälaren (Figur 3).



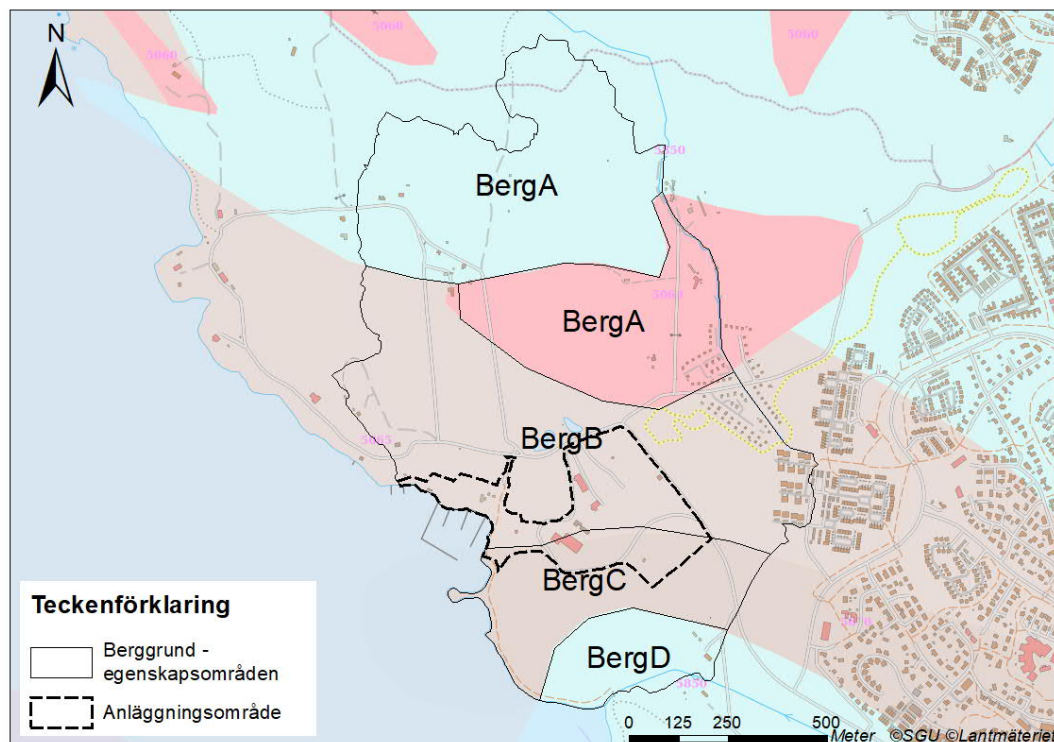
Figur 2. Egenskapsområden specificerade i markytan i och kring anläggningsområdet med jordartskartan i bakgrunden.



Figur 3. Profil A-A genom anläggningsområdet i nordöstlig-sydvästlig riktning (700 m). Profilen är en principskiss över de huvudsakliga geologiska förhållandena och baseras på utförda undersökningar. Undersökningspunkters lägen illustreras i figuren. Profilens exakta läge framgår av Figur 4-3 i Sweco (2020).

Trycknivån inne i deponin står i förbindelse med vattennivån i Mälaren. Översta delen av berggrunden har definierats med olika egenskapsområden enligt berggrundskartan och antas vara relativt uppsprucken över hela modellområdet (Figur 4).

Mer detaljerade geologiska och hydrologiska förhållanden, samt områdesbeskrivning återfinns i Kapitel 3 och 4 i Sweco (2020).



Figur 4. Egenskapsområden specificerade för den översta delen av berggrunden.

4 Numerisk modell

Den numeriska grundvattenmodellen är uppbyggd i beräkningsprogrammet GMS MODFLOW. Modellen är baserad på den konceptuella modellen och sedan vidareutvecklad genom kalibrering och validering med tillgänglig information i form av grundvattennivåmätningar i observationsrör.

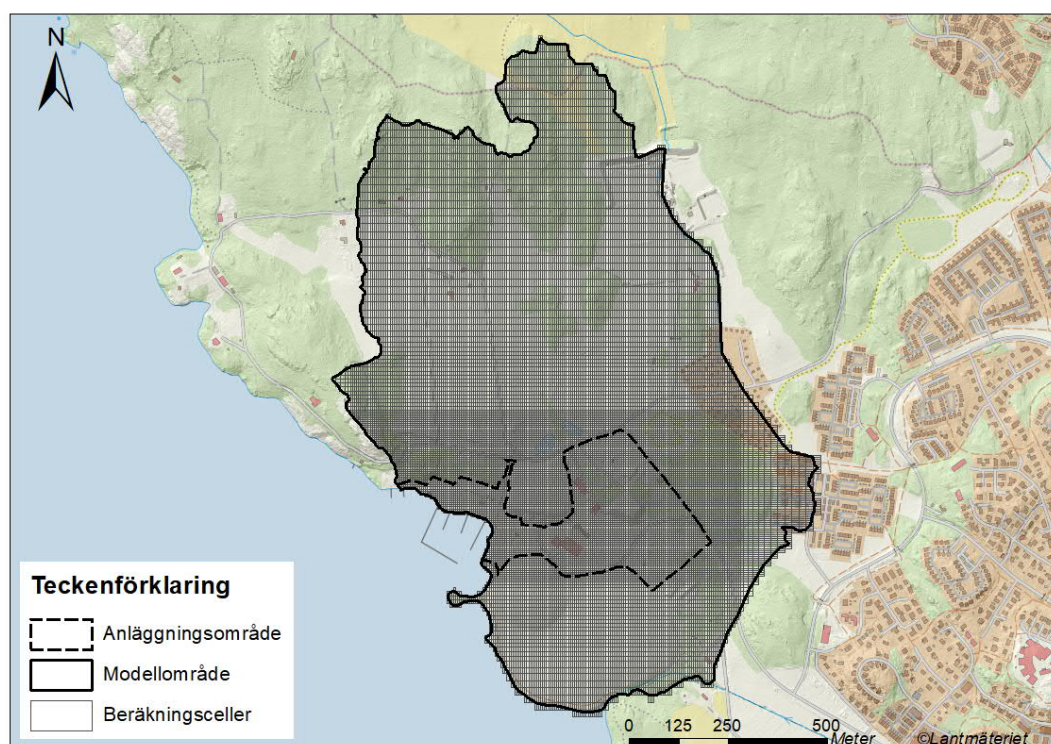
4.1 Programvara

Modellen upprättades i modellverktyget GMS 10.4 (Aquaveo, 2019). GMS använder sig av MODFLOW som bygger på den finita differensmetoden för att beräkna grundvattenflöden mellan celler. Beräkningsmetoden Newton (NWT) ansattes för att beräkna de finita differensekvationerna i MODFLOW och *the upstream weighting package* (UPW) ansattes för att specificera egenskaper som kontrollerar flöden mellan celler. Modellområdet byggs upp med ett lager horisontella beräkningsceller i ett grid.

Flera grid i vertikalled bygger upp celler vertikalt vilka representerar olika lager och kan ges olika egenskaper i den tredimensionella modellen.

4.2 Modellområde och grid

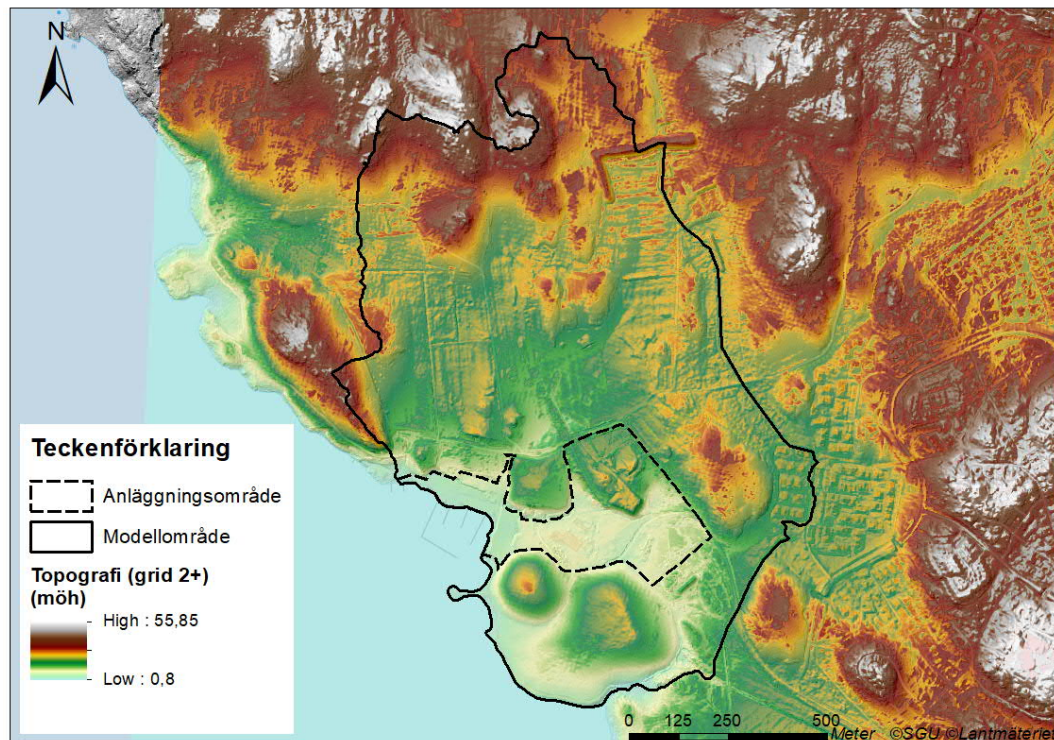
Modellområdet omfattar en total yta på ca 1,2 km² (Figur 5). Gridupplösningen i plan har förfinats kring intresseområdet (anläggningsområdet) och cellerna är där ca 5x5 m. Den beräknade grundvattenytan i en cell representerar ett medelvärde för 25 m². Utanför intresseområdet är upplösningen ca 10x10 m, men då ett strukturerat grid används bildas rektangulära celler som är lokaliserade i samma rader och kolumner som intresseområdet. Dessa celler blir således ca 5x10 m samt 10x5 m med en yta på 50 m².



Figur 5. Anläggningsområde, modellområde och grid.

4.3 Topografi

Modellens överyta (övre del av beräkningslager 1) representerar markytan. Höjddata från Lantmäteriet har använts med upplösning 2 m (Grid 2+) (Figur 6) (Lantmäteriet, 2021).



Figur 6. Topografin (grid 2m) i och kring modellområdet.

4.4 Beräkningslager

Modellen är uppbyggd av 7 beräkningslager. Inom varje lager har olika element tilldelats olika materialegenskaper, t.ex. olika hydraulisk konduktivitet. Element med samma egenskaper representerar tillsammans ett egenskapsområde, t.ex. en geologisk enhet. Den hydrauliska konduktiviteten har justerats vid kalibreringen.

Beräkningslager 1–3 representerar fyllnings- och deponimassor samt naturliga jordlager. Beräkningslager 4–7 representerar berg.

Bergöverytan inom och strax utanför anläggningsområdet är interpolerad utifrån borrhningar och sonderingar. Längre utanför anläggningsområdet har SGU:s jorddjupskarta använts för att representera bergnivåerna. Jordlagrens mäktigheter utgörs i modellen av skillnaden mellan markyta och bergöveryta.

Nivån på de 7 beräkningslagren är specificerade enligt Tabell 1 förutom i de fall då övre nivån av lager 2, 3 och/eller 4 överstiger markytan. Detta kan inträffa då övre nivån av lager 2 och 3 beräknas över bergöverytan som kan vara i marknivå. I dessa fall har marknivån fixerats och uppstickande berggrund har istället skurits av och finns representerad i samtliga lager. Den övre nivån av lager 2 ansatts till minst 2 m mäktighet och övre nivån av lager 3 och 4 till minst 0,5 m mäktighet. I Tabell 2 redovisas de olika beräkningslagren och vilka geologiska förhållanden de representerar.

Tabell 1. Nivå på beräkningslager.

Övre nivå av lager	Undre nivå av lager	Nivå
1		Marknivå
2	1	3 m över bergöverytan, men minst 2 m under marknivån
3	2	1,5 m över bergöverytan, men minst 0,5 m under övre nivån av lager 2
4	3	Bergöveryta, men minst 0,5 m under övre nivån av lager 3
5	4	20 m under bergöverytan
6	5	90 m under bergöverytan
7	6	100 m under bergöverytan
	7	110 m under bergöverytan

Tabell 2. Beräkningslager och vilka geologiska förhållanden de representerar.

Beräkningslager	Geologiska förhållanden	Kommentar
1	Deponimassor Tre områden med olika fyllningsmassor Sprängstensvallar Lera Sandig morän Uppstickande berggrund	Fyllnings- och deponimassor definierade i olika områden baserat på tidigare verksamheter. Naturliga geologiska förhållanden enligt SGUs jordartskarta. Berggrunden är definierad enligt uppdelningen i lager 4.
2	Lera Silt Uppstickande berggrund	Leran förekommer under hela modellområdet förutom under delar av anläggningsområdet där silt representerar ett mer öppet förhållande mellan lager 1 och lager 3. Leran är densamma som förekommer i lager 1.

		Berggrunden är definierad enligt uppdelningen i lager 4.
3	Sandig morän Uppstickande berggrund	Friktionsmaterial i form av sandig morän är definierat i hela modellområdet med undantag för områden med uppstickande berggrund. Berggrunden är definierad enligt uppdelningen i lager 4.
4	Fem områden med olika sprickig berggrund	Fem områden av berggrund har identifierats utifrån SGUs berggrundskarta.
5-7	Mer solid berggrund	

4.5 Randvillkor

Modellens botten är tät och satt till nivån -110 m. Ingen strömning sker över botten på modellen. Flöden djupt ned i berggrunden bedöms som försumbara relativt de flöden som sker i jordlager och ytlig berggrund.

Modellens yttre gränser följer Mälarens strandlinje och ytvattendrag (Figur 7). Där detta saknas i nordväst har den yttre gränsen ansatts till den topografiska vattendelaren baserat på avrinningsområdesdata inhämtat från Scalgo Live (2021). Konstanta trycknivåer motsvarande Mälarens uppmätta medelnivå (0,86 m.ö.h.) har ansatts längs strandlinjen. Längs ytvattendragen har en dränering på 0,5–1 m u my ansatts i riktning mot Mälaren. Det antas inte finnas något flöde in i modellområdet tvärs den topografiska vattendelaren (s.k. "no-flow boundary").

Utströmningsområden skapas i modellen vid simulering genom att trycknivån begränsas till markytans nivå. Stiger trycknivån över nivån 0,1 m under markytan så försvinner vattnet ut ur modellen. Detta representerar att vatten försvinner som och ytavrinning i låglänta områden och som källsprång.

Grundvattenbildning från nederbörd har ansatts i beräkningslager 1 baserat på samma egenskapsområden som för hydraulisk konduktivitet. Ansatt grundvattenbildning är baserad på referensvärden typiska för rådande geologiska förhållanden i denna del av Sverige (Rodhe *et al.*, 2006) samt om det är hårdgjorda ytor eller en sluttäckt deponi.

På ytor med låg hydrauliska konduktivitet i områden utanför anläggningsområdet, t.ex. lera och berg i dagen ansätts en hög grundvattenbildning. Överskottsvatten avleds i modellen strax under markytan genom ett dränvillkor vilket representerar ytvattenavrinning, utströmningsområden, åkerdräneringar m.m. På detta sätt erhålls rimliga grundvattennivåer som följer topografin i ett större modellområde utanför det

egentliga intresseområdet, anläggningsområdet. Den verkliga grundvattenbildningen i modellen sådan områden styrs därför också av den hydrauliska konduktiviteten.



Figur 7. Uppdelning av randvillkor längs modellens yttre gränser.

4.6 Observationspunkter

Observationsrör inom och strax utanför anläggningsområdet har använts vid kalibreringen av modellen. Dessa presenteras i Tabell 3. För kalibreringen har mätvärden från 2020-04-06 använts och för valideringen har mätvärden från 2020-11-04 och 2021-04-14 respektive medelvärden för inmätta grundvattennivåer fram till 2021-04-14 använts.

Tabell 3. Observationspunkter med observerade grundvattennivåer som använts vid kalibreringen och valideringen av modellen.

ID	X	Y	Z (m, RÖK)	Spets-nivå (möh)	Grundvattennivå (möh)			
					2020-04-06	2020-11-04	2021-04-14	Medel
13-2	138009	6585788	6,8	1,77	2,2	2,1	2,1	2,4
13-23	138151	6585755	5,8	2,75	4,5	4,1	4,4	4,3
13-25	138186	6585663	6,7	4,37	4,6	4,6	4,6	4,6
13-28	138254	6585712	7,6	4,58	6,5	5,2	6,2	5,9
18S004	137994	6585604	12,0	-2,02	0,8	0,7	0,8	0,9

ID	X	Y	Z (m, RÖK)	Spetsnivå (möh)	Grundvattennivå (möh)			
					2020-04-06	2020-11-04	2021-04-14	Medel
18S009	137942	6585715	6,7	?	0,9	-	-	-
18S010	137909	6585741	6,3	0,32	1,2	4,1	4,2	1,8
18S019	138015	6585998	13,5	7,47	11,2	11,1	11,2	11,1
18S022	138102	6586018	14,7	4,68	12,8	12,3	12,4	12,3
18S035	138091	6585801	6,6	2,58	4,9	4,7	5,0	4,9
18S054	138006	6585739	6,1	-2,93	1,3	1,1	1,2	1,2
18S202	137811	6585783	3,8	-0,16	0,9	0,8	0,9	0,8
18S203	137774	6585725	4,2	0,20	0,9	0,8	0,9	0,8
18S204	137827	6585731	5,6	0,89	1,0	1,0	1,0	1,0
18S307	138048	6585696	6,0	-3,96	0,9	0,8	0,9	0,9
18S408	137779	6585858	6,1	3,11	4,4	4,4	4,4	4,4
18S503	137794	6585872	6,1	4,00	4,7	4,6	4,7	4,7
18S901G	138074	6586046	13,0	4,96	12,5	12,1	11,3	11,8
18S903G	138168	6585909	12,6	6,62	10,8	-	-	10,6
18S904G	137979	6585849	7,3	2,26	4,9	4,8	4,9	4,8
18S905G	138189	6585817	8,4	1,40	6,2	5,5	6,1	5,6
18S906G	138077	6585680	6,0	-5,03	1,5	1,3	1,5	1,4
18S908G	138236	6585625	8,7	4,67	6,3	5,8	6,1	6,0
18S910GO	137807	6585771	3,5	-0,47	0,9	0,8	0,9	0,8
18S911GO	137790	6585698	4,3	-5,69	0,9	0,8	0,9	0,8
18S912GO	137788	6585551	3,6	-3,39	0,9	0,8	0,9	0,9
18S912GU	137789	6585550	3,4	-32,55	0,9	0,8	0,9	0,9
18S914GO	137917	6585444	8,7	-2,35	0,9	0,8	0,9	0,9
18S914GU	137919	6585443	8,7	-20,29	0,9	0,8	0,9	0,9
18S916GO	138044	6585391	7,8	-2,24	0,9	0,8	0,9	0,9
18S916GU	138043	6585392	8,3	-18,67	0,9	0,8	0,9	0,9
18S917G	137955	6585659	9,3	-7,74	1,2	1,1	1,0	1,0
18S918G	138167	6585614	8,8	-2,22	1,7	1,4	1,7	1,5
18S919G	138216	6585540	9,5	3,49	2,8	2,2	2,7	2,7
18S921	138197	6585434	9,5	-1,55	2,6	2,1	2,6	2,5
18S924	137643	6585970	10,6	7,61	9,7	8,5	9,6	9,3
18S925	137799	6585952	11,0	5,96	7,8	7,1	7,6	7,3
18S926	138191	6585855	8,0	4,97	6,7	5,9	6,5	6,2
18S927	137952	6585904	12,9	2,87	7,7	7,7	7,6	9,0

10 (27)

PM GRUNDVATTENMODELL
2021-10-06
UNDERLAG TILL SVAR PÅ REMISSYTTRANDE,
TILSTÅNDSANSÖKAN FÖR LÖVSTA KVV

ID	X	Y	Z (m, RÖK)	Spetsnivå (möh)	Grundvattennivå (möh)			
					2020-04-06	2020-11-04	2021-04-14	Medel
18S930	138130	6585654	7,2	-2,41	1,9	1,5	1,9	1,7
18S931	138240	6585722	7,9	2,02	6,4	5,2	6,1	5,8
18S934	138288	6585694	8,9	3,93	6,5	5,2	6,3	5,7
18S935	138315	6585636	12,2	6,23	8,5	6,4	8,3	7,0
18S936	138285	6585588	9,0	-0,95	7,1	7,0	7,1	6,8
18S937	138356	6585572	12,4	7,38	9,0	7,4	8,9	8,0
18S938	138240	6585501	6,5	1,52	3,2	2,3	3,1	2,7
18S939	138095	6585769	6,4	-0,58	3,3	-	3,2	3,2
18S9400	138209	6585701	7,2	0,17	5,1	5,6	5,0	4,9
18S940U	138209	6585701	7,2	-2,13	4,5	4,1	4,6	4,4
18S999	138126	6585397	5,2	-0,77	1,4	1,3	1,4	1,4
18S-M1	137884	6585780	5,7	-0,30	1,6	1,5	1,6	1,6
18S-M2	137871	6585743	6,2	-0,84	1,3	1,2	1,3	1,3
18S-M3U	137880	6585760	6,0	-0,99	1,3	1,9	2,0	1,4
19S435	137681	6585901	7,2	5,17	5,5	-	5,6	5,5
19S437	137741	6585871	7,0	3,04	4,4	2,7	4,0	4,4
19S443	137746	6585825	3,3	-1,52	1,0	0,9	1,0	1,0
19S447	137668	6585840	3,0	-1,05	1,0	0,9	1,0	0,9
19S452	137577	6585890	3,5	-0,55	2,4	2,0	2,4	2,4
19S935	138344	6585628	12,4	5,93	9,3	6,7	9,2	7,8
19SF17	137996	6585696	6,6	-6,00	1,3	-	-	1,2
19SF20	137996	6585762	6,7	0,00	3,2	1,1	1,1	1,1
GV14	137759	6585570	2,4	-1,54	0,9	0,8	0,9	0,9
GV22	137852	6585493	5,9	?	0,9	0,8	0,9	0,8
GV23	137902	6585430	8,1	-0,93	0,9	0,8	0,9	0,8
GV4	137864	6585792	5,5	1,08	3,3	1,8	1,8	2,0
GV7	138250	6585561	7,6	3,63	5,4	5,2	5,4	5,5
R1/GV3	137981	6585845	6,9	1,94	4,8	4,7	4,7	4,8

5 Kalibrering

5.1 Kalibrering av grundvattennivåer

Modellen har kalibrerats för stationära förhållanden, dvs alla modellparametrar har hållits konstanta över tid. Kalibrering har utförts mot uppmätta grundvattennivåer 2020-04-06 inom och strax utanför anläggningsområdet.

Vid kalibreringen har framförallt den hydrauliska konduktiviteten justerats i de ytliga fyllnads- och deponimassorna inom och kring anläggningsområdet. Detta har genomförts manuellt samt genom automatiserad kalibrering med PEST. Även de underliggande friktions- och lerlagren har justerats manuellt med avseende på den hydrauliska konduktiviteten. Då det inte har noterats lera under hela anläggningsområdet har även ett område med lite högre genomsläpplighet än lera specificerats och justerats för att återspegla de uppmätta grundvattennivåerna. Då även den ytliga berggrunden har visat sig påverka nivåerna har även dessa justerats manuellt samt genom automatiserad kalibrering med PEST.

Målsättningen har varit att skillnaden mellan observerade och beräknade värden ska understiga 1 m inom modellområdet. Utöver detta har en objektiv bedömning gjorts av att grundvattenytans gradient (lutning) inom modellområdet stämmer i stort med den observerade, d.v.s. modellen ska kunna simulera både höga och låga grundvattennivåer och ge rimliga resultat i hela modellområdet.

5.2 Enkel känslighetsanalys

I samband med den automatiserade kalibreringen med PEST, genomförs en automatisk känslighetsanalys av parametrarna baserat på observerade grundvattennivåer. Detta genomförs för att modellen vid kalibreringen ska veta vilka parametrar som kalibreringen ska fokusera mest på. Eftersom observerade grundvattennivådata används fokuserar kalibreringen på områden i närheten av observationspunkter. Informationen från känslighetsanalysen visar vilka parametrar som har störst respektive minst effekt på modellen. De med högst känslighet är således de som behöver kalibreras mest noggrant. Vid den manuella kalibreringen ges även en uppfattning för parametrars känslighet, men denna redovisas inte.

6 Validering

För att testa modellen (validera) har simuleringar genomförts av grundvattnets trycknivåer under vår och sen höst, 2021-04-14 och 2020-11-04, samt med medelvärden för inmätta grundvattennivåer fram till 2021-04-14 vilka är sammanställda i en intern databas. Databasen över grundvattennivåer upprättades 2018 och innefattar både uppmätta grundvattennivåer för vissa punkter sedan 2013 likväl som nya punkter som tillkommit senaste åren. Data använd vid valideringen har inte använts vid kalibreringen.

7 Simulering av scenarion

Tre olika scenarion har simulerats i den kalibrerade modellen.

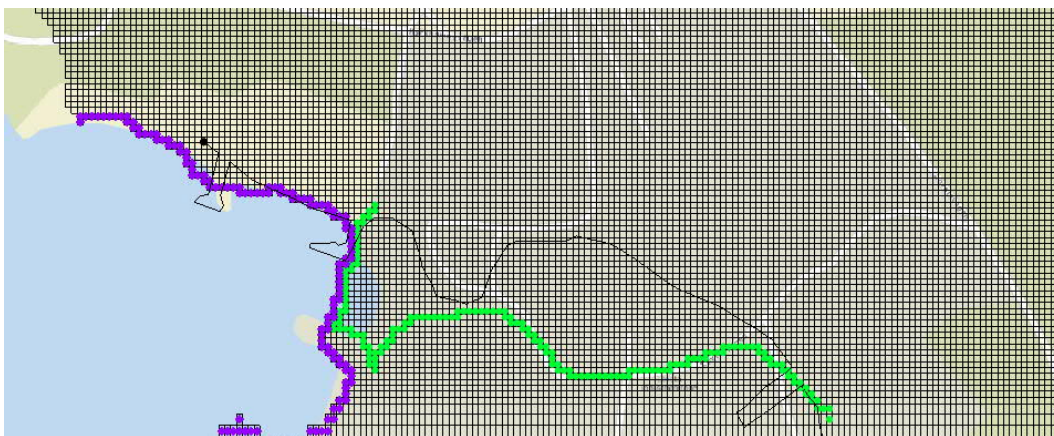
1. Ett avskärande dränerande dike nedan ursprungliga strandlinjen (under Mälarens högsta nivå) längs anläggningsområdets västra och södra delar (Figur 8).
2. Ett avskärande dränerande dike (samma som scenario 1), men också en tätskärm mellan Mälaren det avskärande dränerande diket. Tätskärmen fortsätter i modellen även en sträcka ovanför den tidigare strandlinjen (Figur 9). Syftet med tätskärmen är att stoppa inflödet av Mälarens vatten till diket.
3. Ett avskärande dränerande dike (samma som scenario 1), men med en begränsad utbredning av tätskärm jämfört med scenario 2. Tätskärmen förekommer endast mot Mälaren i väster och norr om Västra deponin i söder (Figur 10).

Grundvattenbildningen har inte ändrats jämfört med det kalibrerade fallet. Detta för att endast kunna studera effekten av tätskärm och avskärande dränerande dike. I praktiken kommer grundvattenbildningen att minska inom anläggningsområdet då kraftvärmeverket byggs.

En tätskärm simulerades i GMS som en näst intill ogenomsläpplig barriär från markytan ner till bergöverytan. Det avskärande dränerande diket simulerades med ett dräneringsvillkor i beräkningslager 1 och 2 som definierades 0,5 m under Mälarens nivå.

7.1 Scenario 1 med avskärande dränerande dike

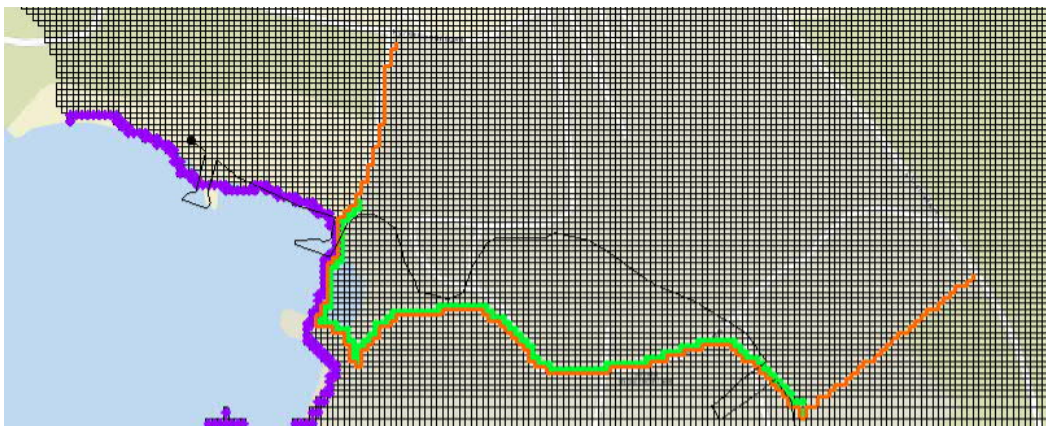
Scenariot med avskärande dränerande dike är specificerat enligt Figur 8 med den hydrauliska barriären i grönt utanför gamla strandlinjen.



Figur 8. Scenario med avskärande dränerande dike (grönmarkerade celler). Den gamla strandlinjen är markerad med svart heldragen linje. Skärmlapp från GMS. ©OpenStreetMap

7.2 Scenario 2 med avskärande dränerande dike och tätskärm

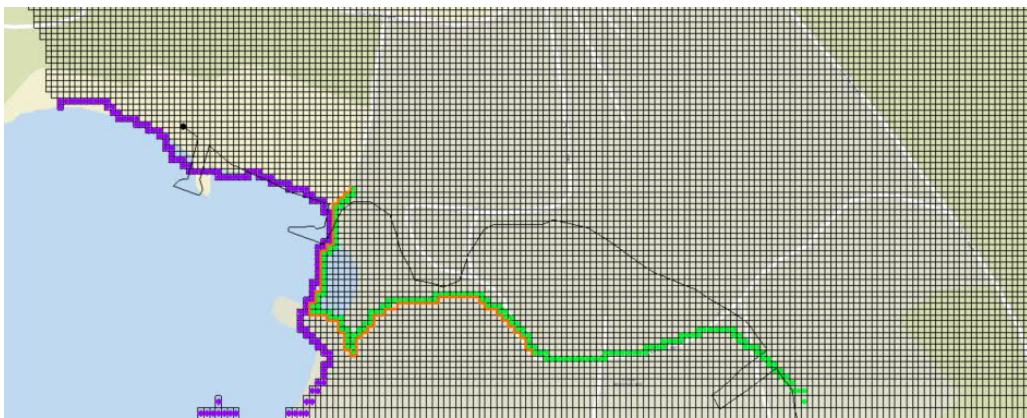
Scenariot med ett avskärande dränerande dike och tätskärm är specificerat enligt Figur 9. Det avskärande dränerande diket visas i grönt utanför gamla strandlinjen. Tätskärmen utanför det avskärande dränerande diket visas i orange.



Figur 9. Scenario med avskärande dränerande dike (grönmarkerade celler) och tätskärm (orange strecka). Den gamla strandlinjen är markerad med svart heldragen linje. Skärmlapp från GMS. ©OpenStreetMap

7.3 Scenario 3 med avskärande dränerande dike och begränsad utbredning av tätskärm

I scenariot med en begränsad utbredning av tätskärm (orange färg) är denna reducerad med 40% nedanför den ursprungliga strandlinjen, enligt Figur 10. Tätskärmen är fokuserad mot områdena närmast Mälaren och västra deponin. Det avskärande dränerande diket framgår med grön färg.



Figur 10. Scenario med avskärande dränerande dike (grönmarkerade celler) och begränsad utbredning av tätskärm (orange strecka). Den gamla strandlinjen är markerad med svart heldragen linje. Skärmlapp från GMS. ©OpenStreetMap

8 Resultat

8.1 Kalibrering

8.1.1 Hydraulisk konduktivitet

Kalibrerade värden på hydraulisk konduktivitet redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Kalibrerade värden på hydraulisk konduktivitet.

Geologisk enhet	Kalibrerad hydraulisk konduktivitet		Förekommer i beräkningslager
	(m/s)	(m/d)	
Fyllning centralt	$K_h = 5,8 \cdot 10^{-7}$ $K_v = 5,8 \cdot 10^{-8}$	$K_h = 0,05$ $K_v = 0,005$	1
Fyllning hamnen	$K_h = 2,6 \cdot 10^{-6}$ $K_v = 2,6 \cdot 10^{-7}$	$K_h = 0,2$ $K_v = 0,02$	1
Fyllning norr	$K_h = 5,8 \cdot 10^{-6}$ $K_v = 5,8 \cdot 10^{-7}$	$K_h = 0,5$ $K_v = 0,05$	1
Deponerade massor	$K_h = 2,3 \cdot 10^{-4}$ $K_v = 2,3 \cdot 10^{-5}$	$K_h = 20$ $K_v = 2,0$	1
Sprängsten	$K_h = 1,2 \cdot 10^{-3}$ $K_v = 1,2 \cdot 10^{-4}$	$K_h = 100$ $K_v = 10$	1
Lera	$K_h = 1,2 \cdot 10^{-8}$ $K_v = 1,2 \cdot 10^{-9}$	$K_h = 0,001$ $K_v = 0,0001$	1-2
Silt	$K_h = 9,3 \cdot 10^{-7}$ $K_v = 9,3 \cdot 10^{-8}$	$K_h = 0,08$ $K_v = 0,008$	2
Sandig morän /friktionsmaterial	$K_h = 9,3 \cdot 10^{-6}$ $K_v = 9,3 \cdot 10^{-7}$	$K_h = 0,8$ $K_v = 0,08$	1-3
BergA uppsprucken	$K_h = 2,0 \cdot 10^{-7}$ $K_v = 2,0 \cdot 10^{-8}$	$K_h = 0,017$ $K_v = 0,0017$	1-4
BergB uppsprucken	$K_h = 5,8 \cdot 10^{-8}$ $K_v = 5,8 \cdot 10^{-9}$	$K_h = 0,005$ $K_v = 0,0005$	1-4
BergC uppsprucken	$K_h = 1,2 \cdot 10^{-7}$ $K_v = 1,2 \cdot 10^{-8}$	$K_h = 0,01$ $K_v = 0,001$	4
BergD uppsprucken	$K_h = 3,6 \cdot 10^{-8}$ $K_v = 3,6 \cdot 10^{-9}$	$K_h = 0,0031$ $K_v = 0,00031$	1-4
Berg fast	$K_h = 2,5 \cdot 10^{-8}$ $K_v = 2,5 \cdot 10^{-9}$	$K_h = 0,0022$ $K_v = 0,00022$	5-7

8.1.2 Grundvattenbildning

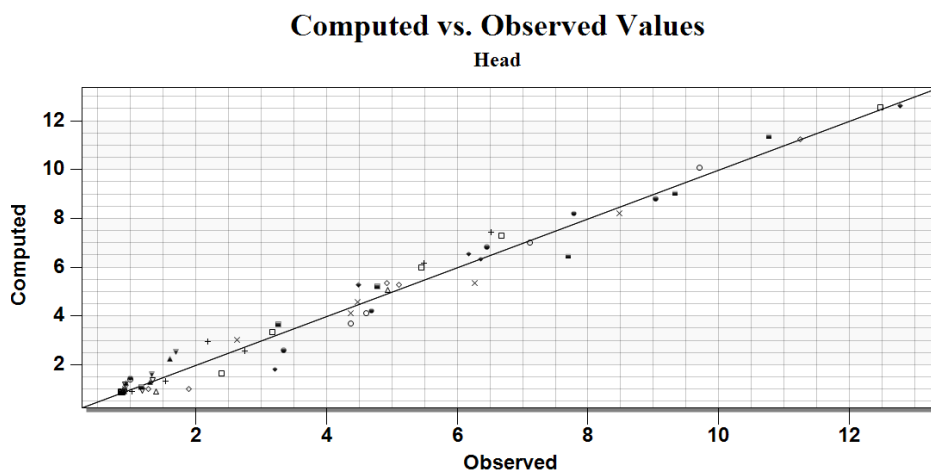
I Tabell 5 redovisas ansatt grundvattenbildning från nederbörd som ansatts i beräkningslager 1.

Tabell 5. Kalibrerade värden på grundvattenbildning från nederbörd.

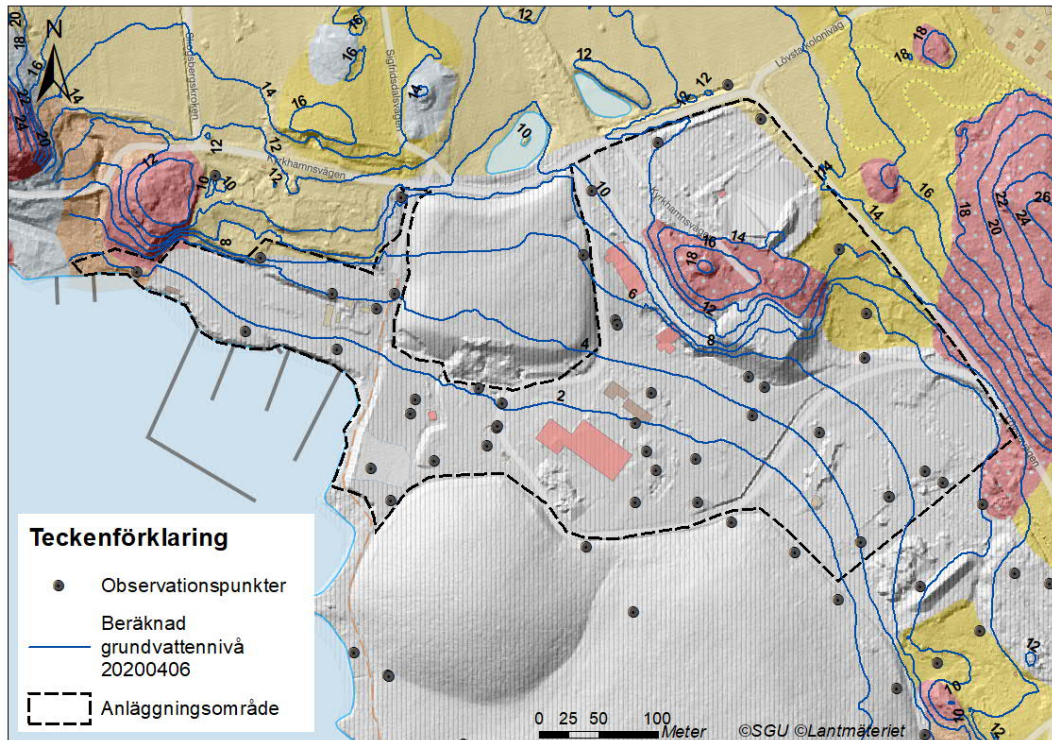
Geologisk enhet	Grundvattenbildning från nederbörd	
	(mm/år)	(m/d)
Sluttäckta ytor (deponier)	26	0,0007
Hårdgjorda ytor	73	0,0002
Lera	110	0,0003
Övriga ytor	183	0,0005

8.1.3 Beräknade och observerade grundvattennivåer

Beräknade grundvattennivåer har jämförts med observerade grundvattennivåer vid mätillfället 2020-04-06. I Figur 11 redovisas en korsplott mellan observerade och beräknade värden. Om exakt överensstämmelse förekommer ansluter alla punkter till linjen $y = x$. Generellt erhöles god överensstämmelse mellan observerade och beräknade nivåer. Ca 75% av jämförelserna visar på en skillnad mindre än 0,5 m och endast två observationspunkter uppvisar över 1 m skillnad mellan observerade och beräknade nivåer (dock ej större än 1,4 m skillnad). Grundvattenytans lutning, d.v.s. höga och låga grundvattennivåer i området efterliknas också. I Figur 12 redovisas beräknade grundvattennivåer i beräkningslager 1, där deponi- och fyllningsmassor ingår, som potentiallinjer.



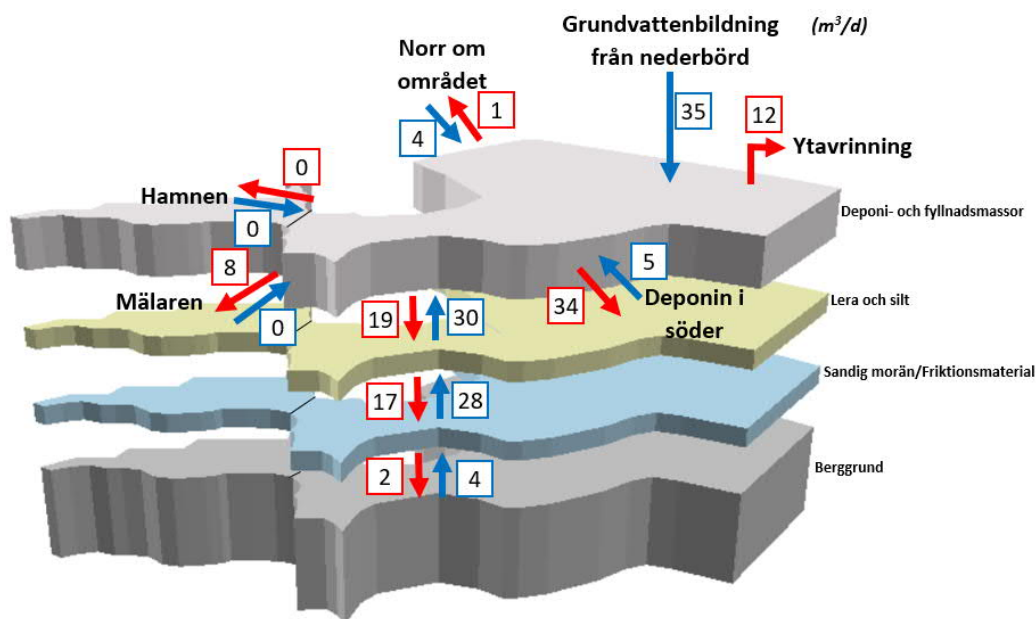
Figur 11. Jämförelse mellan beräknade och observerade trycknivåer (möh) inom och kring anläggningsområdet 2020-04-06.



Figur 12. Beräknade trycknivåer i och kring anläggningsområdet 2020-04-06. Beräkningslager 1 med jordartskartan i bakgrunden.

8.1.4 Vattenbalans

I Figur 13 redovisas vattenbalansen för anläggningsområdet vid ostörda förhållanden, med fokus på flöden i deponi- och fyllnadsmassorna. I ytavrinningen ingår även flöden ut ur området i diken till vattendrag.



Figur 13. Vattenbalans för anläggningsområdet vid simulering av ostörda förhållanden. Avrundade värden.

8.1.5 Enkel känslighetsanalys

Känslighetsanalysen genomfördes i samband med den automatiserade kalibreringen av den hydrauliska konduktiviteten av några egenskapsområden i jord och berg. I jord genomfördes analysen i de olika egenskapsområdena som representerar fyllnadsmassor, deponimassor och sprängstensvallar i beräkningslager 1. Högst känslighet, och därmed störst påverkan på modellresultaten, uppvisade fyllningsmaterial samt deponierna. Minst känslighet, och således minst påverkan på modellen, uppvisade området med sprängsten.

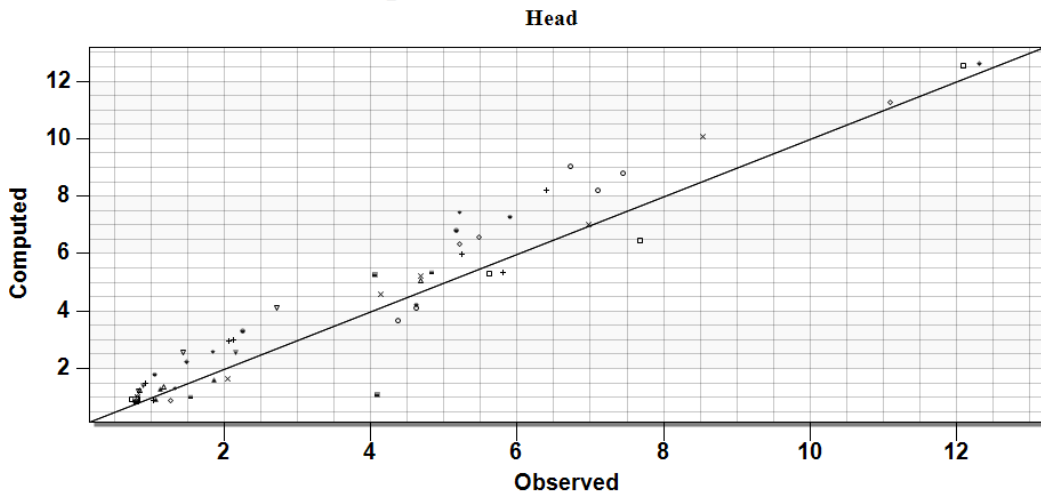
I berg visade analysen att bergområden lokaliserat under anläggningsområdet hade störst känslighet. Jordlagren inom anläggningsområdet har dock generellt högre känslighet än underliggande berggrund.

8.2 Validering

De kalibrerade grundvattennivåerna validerades mot observerade grundvattennivåer från hösten 2020 (Figur 14) och våren 2021 (Figur 15) samt med medelvärden för inmätta grundvattennivåer fram till 2021-04-14 (Figur 16). Resultaten redovisas i korsplotter mellan observerade och beräknade värden. Om exakt överensstämmelse förekommer ansluter alla punkter till linjen $y = x$. Generellt erhöles god överensstämmelse mellan observerade och beräknade nivåer för våren och med medelvärden, men för hösten är det något sämre korrelation.

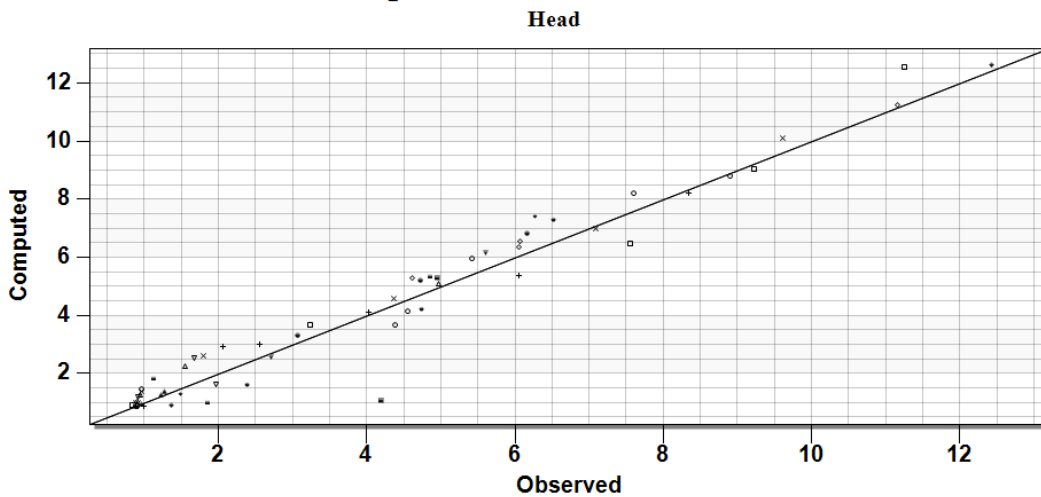
Vid valideringen har ingen korrigerig gjorts av grundvattenbildning. Hösten år 2020 var t.ex. torrare än normalt vilket sannolikt bidragit till att de beräknade grundvattennivåerna för hösten år 2020 är högre än observerade.

Computed vs. Observed Values



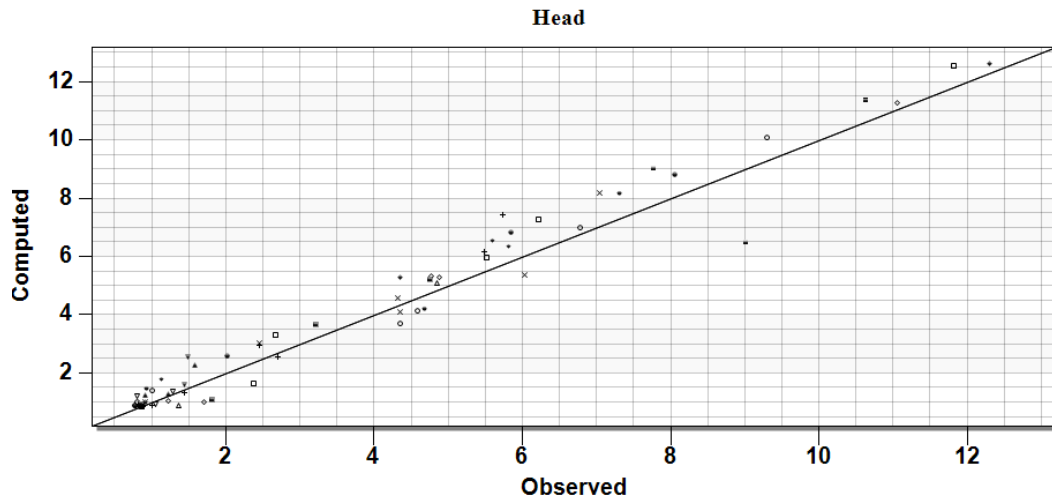
Figur 14. Beräknade vs uppmätta grundvattennivåer (möh) från 2020-11-04.

Computed vs. Observed Values



Figur 15. Beräknade vs uppmätta grundvattennivåer (möh) från 2021-04-14.

Computed vs. Observed Values



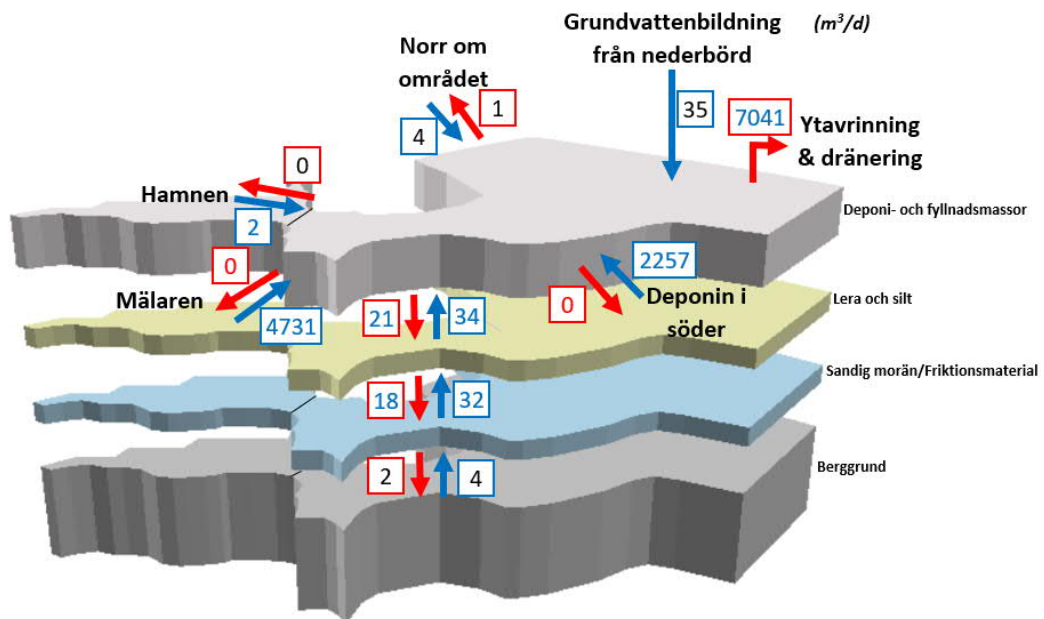
Figur 16. Beräknade vs uppmätta medelgrundvattennivåer (möh) hämtade från upprättad databas över grundvattennivåer (datum 2021-04-14).

8.3 Simulering av scenarion

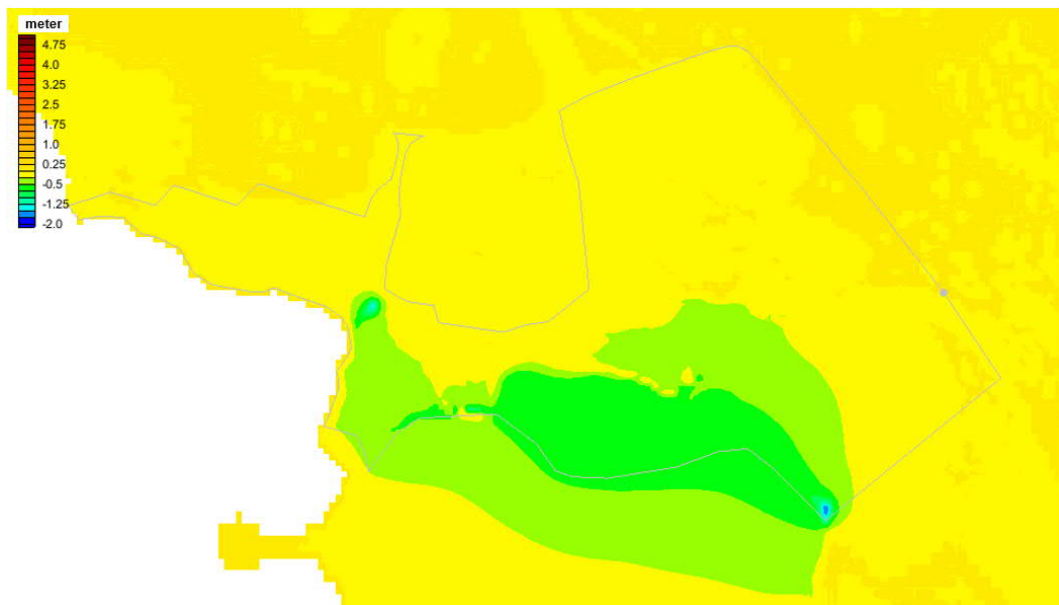
8.3.1 Scenario 1 med avskärande dränerande dike

I Figur 17 redovisas vattenbalansen för anläggningsområdet vid simulering av scenario 1 med avskärande dränerande dike, med fokus på flöden i deponi- och fyllnadsmassorna. I ytavrinningen och dräneringen ingår, förutom flöden ut ur området i diken till vattendrag, även det simulerade utflödet från den hydrauliska barriären. Scenariot visar en mycket stor ökning av vatten som flödar in från Mälaren och deponin i söder till anläggningsområdet och det avskärande dränerande diket. Det vertikala flödet mellan de geologiska lagren ökar något.

I Figur 18 redovisas den förändrade trycknivån vid simuleringen av scenario 1 i jämförelse med ostörda förhållanden. Längs det avskärande dränerande diket sänks trycknivån både inom och utanför anläggningsområdet och vatten flödar från båda håll mot diket. Det är inte möjligt att i modellen sänka av trycknivån till rätt nivå mot Mälaren då inläckaget från sjön är för stort.



Figur 17. Vattenbalans för anläggningsområdet vid simulering av scenario 1 med **hydraulisk barriär**. Avrundade värden. Högre flöden än vid ostörda förhållanden är markerade i blått, lägre flöden i rött och oförändrade värden i svart.

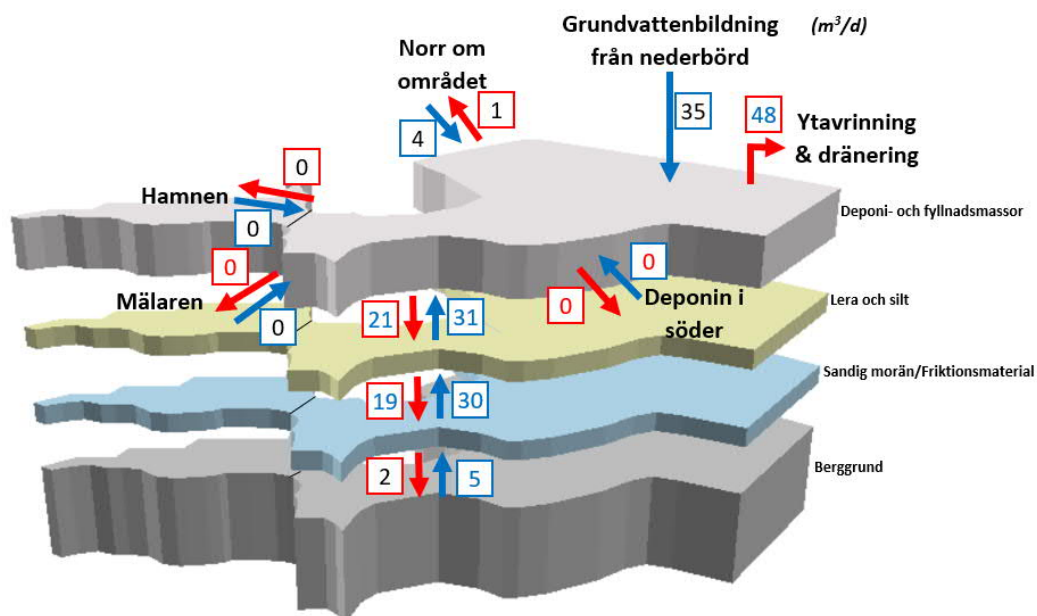


Figur 18. Förändrad trycknivå i jämförelse med ostörda förhållanden vid simulering av scenario 1 med avskärande dränerande dike. Anläggningsområdet är markerat med grå linje och sponten med orange.

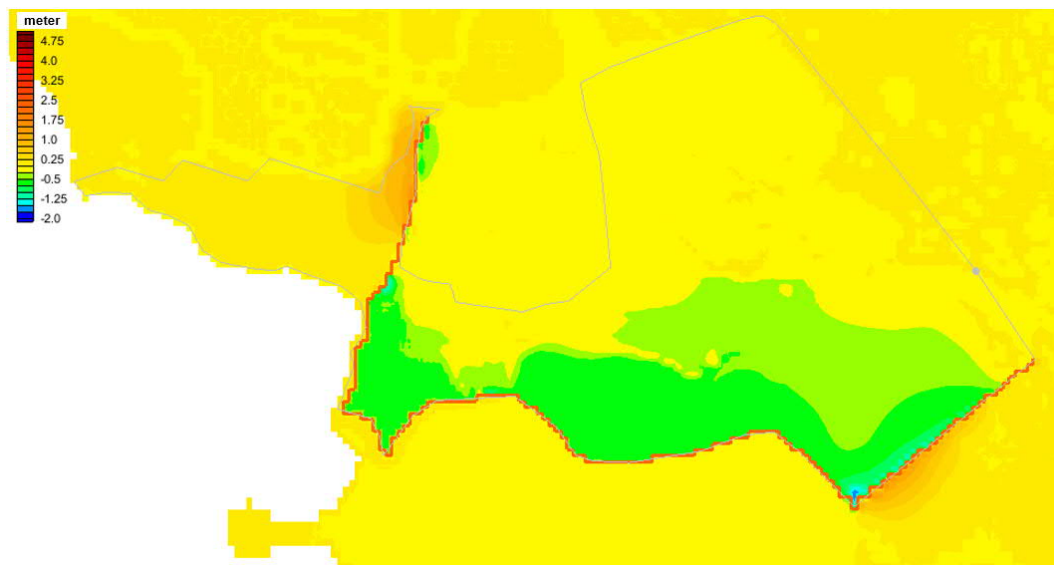
8.3.2 Scenario 2 med avskärande dränerande dike och tätskärm

I Figur 19 redovisas vattenbalansen för anläggningsområdet vid simulering av scenario 2 med avskärande dränerande dike och tätskärm, med fokus på flöden i deponi- och fyllnadsmassorna. I ytavrinningen och dräneringen ingår, förutom flöden ut ur området i diken till vattendrag, även det simulerade utflödet från det avskärande dränerande diket. Med en tätskärm blockeras flödet mellan anläggningsområdet och hamnen/Mälaren/deponin i söder. Istället ökar det vertikala flödet mellan de geologiska lagren något.

I Figur 20 redovisas den förändrade trycknivån vid simuleringen av scenario 2 i jämförelse med ostörda förhållanden. Innanför tätskärmen sänks trycknivån av till följd av det avskärande dränerande diket, men det finns även trycknivåhöjningar utanför tätskärmen ovan gamla strandlinjen där strömningslinjerna inte är helt parallella med tätskärmens utbredning.



Figur 19. Vattenbalans för anläggningsområdet vid simulering av scenario 2 med avskärande dränerande dike och tätskärm. Avrundade värden. Högre flöden än vid ostörda förhållanden är markerade i blått, lägre flöden i rött och oförändrade värden i svart.

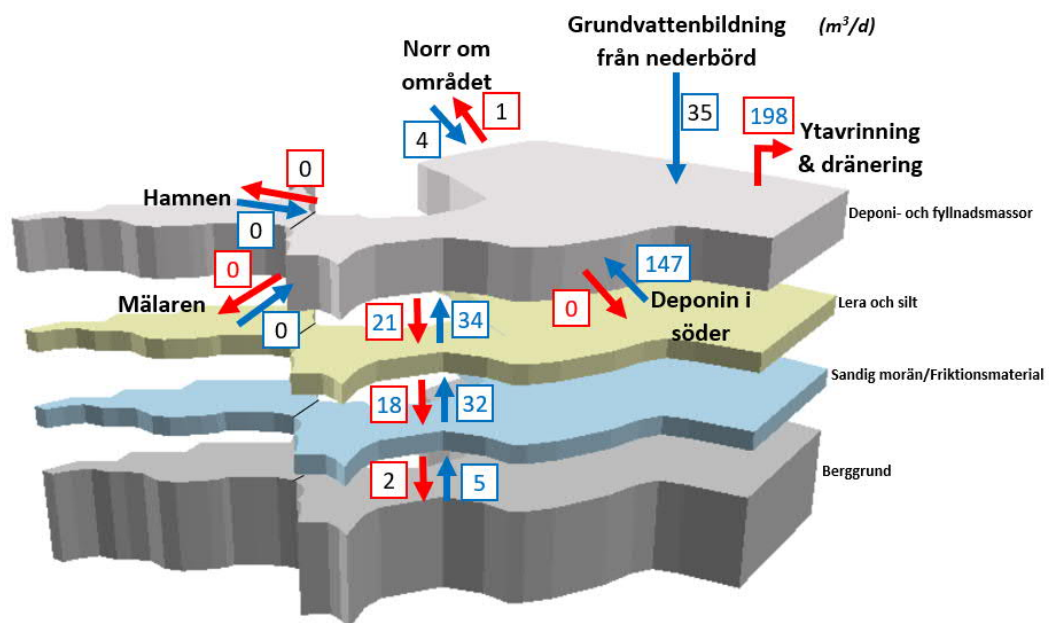


Figur 20. Förändrad trycknivå i jämförelse med ostörda förhållanden vid simulering av scenario 2 med avskärande dränerande dike och tätskärm. Anläggningsområdet är markerat med grå linje och sponten med orange.

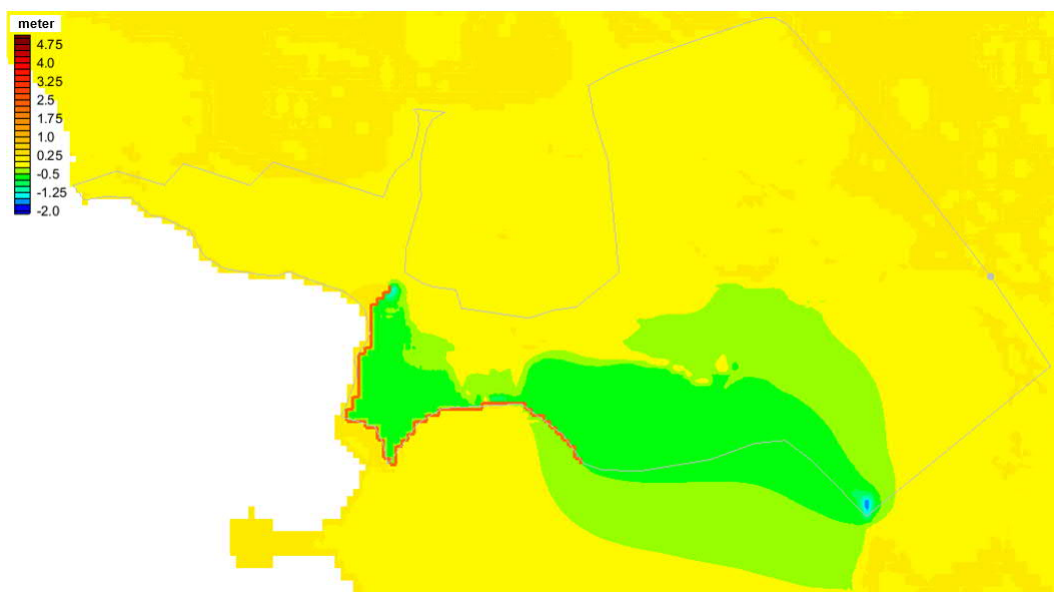
8.3.3 Scenario 3 med avskärande dränerande dike och begränsad utbredning av tätskärm

I Figur 21 redovisas vattenbalansen för anläggningsområdet vid simulering av scenario 3 med avskärande dränerande dike och begränsad utbredning av tätskärm, med fokus på flöden i deponi- och fyllnadsmassorna. I ytavrinningen och dräneringen ingår, förutom flöden ut ur området i diken till vattendrag, även det simulerade utflödet från det avskärande dränerande diket. I och med att det finns en tätskärm mot Mälaren och de västra delarna av den södra deponin minimeras flödena i dessa områden, däremot dras vatten in från östra delen av deponin i söder till anläggningsområdet och vidare ut i dräneringen. Det vertikala flödet mellan de geologiska lagren ökar även något.

I Figur 22 redovisas den förändrade trycknivån vid simuleringen av scenario 3 i jämförelse med ostörda förhållanden. Innanför tätskärmen sänks trycknivån av till följd av det avskärande dränerande diket och i öster där tätskärm saknas blir utbredningen av trycksänkningen större och vatten flödar från deponin i söder mot anläggningsområdet och vidare ut i dräneringen.



Figur 21. Vattenbalans för anläggningsområdet vid simulering av scenario 3 med avskärande dränerande dike och begränsad utbredning av tätskärm. Avrundade värden. Högre flöden än vid ostörda förhållanden är markerade i blått, lägre flöden i rött och oförändrade värden i svart.



Figur 22. Förändrad trycknivå i jämförelse med ostörda förhållanden vid simulering av scenario 3 med avskärande dränerande dike och begränsad utbredning av tätskärm. Anläggningsområdet är markerat med grå linje och sponten med orange.

9 Diskussion och slutsatser

Modellen över anläggningsområdet i Lövsta har byggts upp baserat på befintligt underlag och en förenklad konceptuell tolkning av de verkliga hydrogeologiska förhållandena. Modellen har därför mer homogena och likartade förhållanden än vad som förekommer i verkligheten. Därför är också beräkningsresultaten mer likartade i större områden. Jämfört med uppmätta grundvattennivåer.

Efter utförd kalibrering av den nuvarande modellversionen kan modellen på ett tillfredsställande sätt simulera uppmätta ostörda grundvattennivåer som uppmätts under våren år 2020. Valideringen visar att modellen även kan simulera grundvattennivåer med observationsdata från andra tidpunkter, men också att aktuell grundvattenbildning spelar roll för beräkningsresultatet.

Den kalibrerade och validerade modellen kan användas för att simulera olika scenarion. Modellen ger möjlighet att studera effekten av olika åtgärdsscenarion. Resultaten ger en indikation på storleken av flöden och nivåer m.m., men bör främst tolkas relativt varandra.

Tabell 6. Vattenbalansresultat för ostörda förhållanden samt scenario 1 till 3. Vattenbalanser avser fyllningsmaterial/deponin inom anläggningsområdet. Plus-tecken innebär inflöde, minustecken innebär utflöde. Flöde i m³/d (l/s).

	Ostörda förhållanden	Scenario 1 Dränering	Scenario 2 Dränering+tätskärm	Scenario 3 Dränering+begränsad tätskärm
Nybildning av grundvatten från nederbörd. (Har hållits konstant för att endast utreda effekt av tätskärm och dränering.)	+35	+35	+35	+35
Tillströmning från områden utanför anläggningsområdet (från norr)	+3	+5	+3	+3
Utbyte med underliggande lager	+11	+13	+10	+13
Ytavrinning + vatten som dräneras bort	-12	-7 041	-48	-198
Utbyte direkt till Mälaren	-8	+4 731	0	0

Utbyte (netto) till deponin i söder (och därmed Mälaren)	-29	+2 257	0	+147
Summa	0	0	0	0

Kommentarer till resultat redovisade i Tabell 6:

- Utbytet med underliggande lager är (i det närmaste) oberoende av studerade scenarier. Ett svagt nettoläckage av grundvatten från djupare jordlager sker i modellen.
- Under ostörda förhållanden beräknas utflödet direkt till Mälaren som 0,1 l/s, medan utflödet till deponin i söder (och indirekt Mälaren) är något större, ca 0,3 l/s. Mindre än 1 l/s bedöms flöda ut från anläggningsområdet till Mälaren (via övriga deponier).
- Scenario 1, med dränering, innebär ett mycket kraftigt inflöde från Mälaren, men även från deponin i söder. Rening krävs av stora vattenflöden, delvis innehållande lakvatten från deponin i söder, innan avledning till Mälaren. Resultatet ska tolkas som "stora flöden". Det exakta flödet kräver noggranna hydrogeologiska undersökningar, provpumpning/-ar.
- Scenario 2 innebär (teoretiskt) ett noll-utbyte med Mälaren, direkt och indirekt (via deponin i söder). Vattenbehandling av 0,5 – 1 l/s kan förväntas.
- Scenario 3 innebär (teoretiskt) ett noll-utbyte direkt med Mälaren, men ett tillflöde av vatten från deponin i söder av ca 1,5 l/s. Vattenbehandling av ca 2-3 l/s kan förväntas krävas.
- Nybildningen av grundvatten minskar när anläggningen byggs jämfört med scenarierna ovan.

Vattenbalanser för scenariot med ostörda förhållanden visar att mindre än 1 l/s (<86 m³/d) grundvatten kontinuerligt strömmar ut från anläggningsområdet till Mälaren och till övriga deponiområden. Nybildningen av grundvatten till fyllningsmassorna inom anläggningsområdet sker genom infiltrerande nederbörd, inströmning från omgivande landområden samt från djupare liggande jord- och berglager.

De olika scenarierna 1–3, där lösningar med tätskärmar och avskärande dränerande diken har testats, visar relativt tydligt att tre hydrogeologiska principer huvudsakligen styr effekten av de olika åtgärderna. Sammantaget bedöms att tätskärm i någon utsträckning är nödvändig för att reducera inläckaget från Mälaren till ett avskärande dränerande dike.

1. Längre strömningsväg från Mälaren, innebär lägre gradient och lägre drivkraft för flöde.
2. Tätskärm parallellt med grundvattenströmningen har begränsad effekt. Tätskärm ska placeras avskärande tvärs grundvattenströmningen.

3. Mindre jorddjup i östra delen av anläggningsområdet innebär lägre transmissivitet och därmed lägre flöde.

Dessa principer tillsammans med mer detaljerade hydrogeologiska undersökningar går att dra fördel av vid t.ex. framtida projektering av tätskärm och avskärande dränerande dike. De tre principerna samverkar och innebär att en tätskärm och dränerande dike har klart störst effekt närmast Mälaren.

Detaljer kring flöden mellan enheter och trycknivåer vid specifika punkter bör tolkas med försiktighet. För att beräkna flöden och trycknivåer med större precision, i grundvattenmodellen, krävs resultat från provpumpning/-ar i området. En utvärderad provpumpning ger underlag i form av både transmissivitet (genomsläpplighet) och magasinkoefficient (lagringsförmåga) samt i bästa fall en indikation på hur stor den hydrauliska kontakten är med Mälaren. Modellen kan då också kalibreras mer noggrant och mot transienta förhållanden (tidsberorende).

Provpumpning som undersökningsmetod kommer dock att vara utmanande att genomföra p.g.a. föroreningssituationen i jord och grundvatten.

Referenser

Sweco, 2020. *PM Förorenad mark och hydrogeologi. Lövsta kvv/mark och va. Underlag till tillståndsansökan och detaljplan. 2020-08-21. Uppdragsnummer 13005526.*

Aquaveo, 2019. *GMS - Groundwater Modelling Software (10.4).* [Programvara]

Lantmäteriet, 2021. Lövsta. SWEREF 99 18 00, RH 2000. Höjddata 2+grid [Kartografiskt material] <https://minkarta.lantmateriet.se> [2021-03-10]

Scalgo Live, 2021. Lövsta.

Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J., & Pers, C., 2006. Grundvattenbildning i svenska typjordar. *Uppsala universitet*, (s 35).