

Grundvandskortlægning
J.nr.
Ref. BIPED
Den 8. marts 2024

Tilføjelse til BNBO beregningsprocedure

Dette notat præsenterer nye anbefalede parametre til beregning af BNBO i en grundvandsmodel, i de områder af Danmark, hvor indvindingen sker fra opsprækkede kalkmagasiner. De reviderede parametre tager udgangspunkt i et studie gennemført af GEUS, der blev iværksat af Miljøstyrelsen i august 2020, og som repræsenterer nyeste faglige viden inden for strømning i opsprækket kalk.

Baggrund og problemstilling

Miljøstyrelsens procedure for afgrænsning af boringsnære beskyttelsesområder (BNBO) blev revideret i juni 2020 /1/. Før denne revision benyttede Miljøstyrelsen vejledning nr. 2 fra 2007 om boringsnære beskyttelsesområder /2/ med senere præciseringer /3 - 5/.

Revisionen i 2020 fulgte GEUS anbefaling om at skelne mellem simple og komplekse strømningsforhold i BNBO beregningskonceptet /6/. Strømning i opsprækket kalk er meget kompleks, hvorfor den anbefalede effektive porøsitet (n_{eff}), som er en af de nødvendige parametre for at kunne beregne BNBO, blev reduceret fra 20% til 10%, således at kompleksiteten og dermed usikkerheden blev afspejlet i form af større BNBO /1/. Idet anbefalingen ikke var fuldt fagligt underbygget iværksatte Miljøstyrelsen samtidig et nyt studie hos GEUS med det formål at undersøge, om det var muligt at finde en bedre værdi for centrale parametre, derunder den effektive porøsitet og den hydrauliske ledningsevne (K), baseret på nyeste viden om strømning i opsprækket kalk. GEUS studiet blev afsluttet i februar 2022 og rapporten /7/ blev godkendt af Miljøstyrelsen den 2. marts 2022.

GEUS' studie viste, at grundvandsstrømning og stoftransport i kalk tæt på kildepladser primært foregår i sprækker /7/. På grund af de høje transporthastigheder nær ved indvindingsboringen er der dog ikke ligevægt mellem stofkoncentrationen i sprækker og matrix, og den gennemsnitlige effektive porøsitet er derfor i praksis højere end sprække porøsiteten (n_f) (typisk ~1%), men mindre end matrix porøsiteten (typisk 30 – 40% afhængig af kalktype). I voksende afstand til boringen vil den effektive porøsitet tilnærme sig matrixporøsiteten (n_m) på grund af diffusion af opløste stoffer fra sprækker til matrix ved lavere transport hastigheder.

Den metode til beregning af BNBO arealet, der repræsenterer strømningen i opsprækket kalk mest præcist er en såkaldt dobbelt porøs model, hvor der anvendes separate porøsitetsværdier for sprækker og matrix. Anvendelse af en dobbeltporøs model i BNBO beregningen er dog i praksis disproportionalt ressourcekrævende, og det er derfor nødvendigt at benytte en enkeltporøs model, der kan implementeres ved fremtidige BNBO beregninger i opsprækket kalk. Dette nødvendiggør fastlæggelse af værdier for den effektive porøsitet.

Effektiv porøsitet i kalk og BNBO beregninger i kalk

På baggrund af simuleringer af stoftransport med syntetiske dobbeltporøse modeller og enkeltporøse modeller, har GEUS fundet frem til effektive porøsiteter til anvendelse i beregninger med enkeltporøse modeller på 1 års skala, svarende til BNBO beregningerne /7/. GEUS fandt frem til, at den effektive porøsitet, der skal anvendes, når man simulerer et dobbeltporøst system med en enkeltporøs model, er afhængig af den hydrauliske ledningsevne. På baggrund af disse resultater har GEUS udarbejdet en tabel, der viser sammenhængen mellem hydraulisk ledningsevne og effektiv porøsitet til anvendelse i BNBO beregninger, se Tabel 1.

Tabel 1 Hydraulisk ledningsevne og porøsitet efter tabel 1.1 i /7/.

Bjergart	Effektiv porøsitet (n_{eff})	Hydraulisk ledningsevne (K)	Sprække porøsitet (n_f)	Matrix porøsitet (n_m)
	[%]	[m/s]	[%]	[%]
Skrivekridt	17	$3,60 \times 10^{-5}$	0.8	30
Bryozokalk Kalksandkalk Slamkalk Kertemindemergel	13	$1,35 \times 10^{-4}$	0.8	30
Grønsandskalk	11	$5,11 \times 10^{-4}$	0.8	30

I forhold til den praktiske anvendelse af parametrene vist i **Error! Reference source not found.** har GEUS givet følgende anbefalinger (citater fra /7/):

”De fundne effektive porøsiteter relaterer sig til den hydrauliske ledningsevne, de er estimeret sammen med. Derfor bør de fundne effektive porøsiteter kun benyttes med de samme hydrauliske ledningsevner ved estimering af BNBO-områder. Det anbefales at vælge en af de 3 effektive porøsiteter med tilhørende hydrauliske ledningsevner. Det kan gøres på to måder afhængig af eksisterende lokal viden:

- 1) Der er ingen tilgængelig information om K-værdier i JUPITER eller ingen viden om eksisterende makrosprækker i lokalområdet. I dette tilfælde skal parametrene tildeles i henhold til kalktypen ved indvindingsboringens indtag. Kortet over de danske kalkbjergarter, kapitel 6, og borehulsbeskrivelser i JUPITER, kan hjælpe med dette valg. Afhængigt af kalktype vælges en af de tre parametergrupper, jævnfør tabel 1.1.*
- 2) Der er pålidelig viden om K-værdier i JUPITER eller fra lokale undersøgelser og denne er under 10^{-3} m/s, og der er ingen indikation af makrosprækker. I dette tilfælde bør BNBO-estimeringsmodellen tildeles n_{eff} og K-værdierne fra den gruppe (25, 50 eller 75 % percentil), som den stedspecifikke K-værdi ligger tættest på. De stedspecifikke K-værdier bør ikke bruges direkte i modellen, men bruges til at vælge parametre fra en af de tre parametergrupper. Hvis der er mere end én kendt og troværdig K-værdi for en model med mere end én indvindingsboring, kan et gennemsnit af de kendte K-værdier bruges til at identificere en af de tre parametergrupper. Troværdige K-værdier er fra hydrauliske test, der er velbeskrevne og dokumenterede (f.eks. i konsulentrapporter ved den givne indvindingsboring).”*

GEUS vurderer, at observerede hydrauliske ledningsevner over 10^{-3} m/s er en klar indikation på makrosprækker og dermed turbulente flow forhold nær ved indvindingsboringen /7/. En konsekvens af

dette er, at de numeriske modeller, der bygger på Darcy's lov, principielt ikke kan benyttes til beregning af BNBO, hvis den hydrauliske ledningsevne i kalken er over 10^{-3} m/s.

I henhold til /1/ er Miljøstyrelsens praksis (jf. Fig. 3.1 i /1/), at BNBO i kalkmagasiner skal beregnes med numeriske modeller, idet der er tale om et komplekst medium. Såfremt L/B-forholdet for BNBO i væsentlig grad overstiger 3 (jf. afsnittet Genberegning af BNBO med L/B-forhold større end 3), eller hvis indvindingstilladelsen for boringen er mindre end $5.000 \text{ m}^3/\text{år}$ (jf. Fig. 3.1), kan det komme på tale at beregne BNBO med cirkelmetoden.

I Miljøstyrelsens numeriske modeller anvendes typisk særskilte beregningslag for opsprækket kalk og ikke-opsprækket kalk. Herudover foretages ofte også zoner i kalkberegningsslagene ud fra prøvepumpningsresultater og/eller specifik kapacitet og/eller kalkbjergart. Derfor vurderer Miljøstyrelsen, at de data GEUS henviser til i ovenstående anbefalinger, allerede er indbygget i de numeriske modeller og at der derfor kan tages udgangspunkt i de kalibrerede hydrauliske ledningsevner i modellerne.

Implementering i Miljøstyrelsens numeriske grundvandsmodeller til beregning af BNBO

Med udgangspunkt i GEUS anbefalinger anvender MST følgende procedure til specifikation af værdier for K og n_{eff} , til beregning af BNBO i numeriske modeller. Herved udvides spændet for anvendelsen af kalibrerede værdier.

Ved beregning af BNBO i numeriske modeller som er kalibreret, er den kalibrerede hydrauliske ledningsevne (K_{kal}) en kalibreret værdi der er afstemt efter at passe med observationer af trykniveau og evt. vandføring. Valg af n_{eff} udføres på baggrund af K_{kal} som findes boringsnært og n_{eff} vælges ud fra **Error! Reference source not found.** Intervallerne er fundet ved at antage et lineært forhold mellem de 3 parametersæt (K og n_{eff}) som er afrapporteret af GEUS /7/. Det lineære forhold er anvendt til at ekstrapolere ud over det originale datasæt for at kunne dække forventet spænd af værdier bedre. Anvendelse af kalibreret K-værdier over 10^{-3} m/s eller under 10^{-5} m/s, bør kun ske, hvor data kan bekræfte disse ekstreme værdier.

Tabel 2 Kalibreret K-værdi med tilhørende effektiv porøsitet, der skal anvendes i modellen ved beregning af BNBO. * angiver værdier ekstrapoleret ud over værdier i GEUS rapport

K_{kal} [m/s]	n_{eff} [%]
$K_{\text{kal}} \leq 2,1 \times 10^{-5}$	19*
$2,1 \times 10^{-5} < K_{\text{kal}} \leq 5,0 \times 10^{-5}$	17
$5,0 \times 10^{-5} < K_{\text{kal}} \leq 1,2 \times 10^{-4}$	15
$1,2 \times 10^{-4} < K_{\text{kal}} \leq 2,8 \times 10^{-4}$	13
$2,8 \times 10^{-4} < K_{\text{kal}} \leq 6,5 \times 10^{-4}$	11
$6,5 \times 10^{-4} < K_{\text{kal}}$	9*

Den valgte n_{eff} lægges i modellen i et passende areal omkring boringen afstemt efter modellens K_{kal} -værdier. Såfremt L/B-forholdet for BNBO i væsentlig grad overstiger 3, justeres værdierne for K og n_{eff} om muligt ud fra konkret data på boringerne. Kan der ikke findes en afklaring af realistiske værdier der løser L/B-forholdet, kan det vælges at beregne BNBO med cirkel metoden.

Cirkelmetoden

Ved beregning af BNBO med cirkel metoden anbefales det, at der vælges K-værdier med tilhørende n_{eff} -værdi ud fra prøvepumpningsresultater eller bjergart i den enkelte boring/kildeplads jf. GEUS anbefalinger og værdier i **Error! Reference source not found.**

Referencer

- /1/ BNBO beregningsprocedure, Miljøstyrelsen juni 2020.
- /2/ Boringsnære beskyttelsesområder – BNBO. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2007.
- /3/ Notat: Præciseret vejledning om beregning af størrelsen på boringsnære beskyttelsesområder, BNBO. Naturstyrelsen, juli 2013.
- /4/ Notat: Præcisering af anbefalinger i GeoVejledning 2 mht. afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannede oplande. Naturstyrelsen 2014.
- /5/ Miljøstyrelsens procedure for beregning af BNBO. Miljøstyrelsen. Notat 22 august 2018.
- /6/ GEUS's vurdering af BNBO beregningskonceptet. GEUS Notat nr.: 06-VA-19-01. 3 april 2019.
- /7/ Effective porosity and hydraulic conductivity of fractured chalk and limestone aquifers. GEUS rapport 2022/13. Marts 2022.