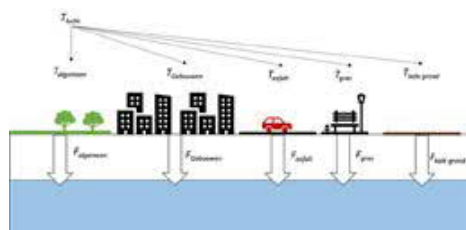


In stedelijke gebieden is de temperatuur van het ondiepe grondwater hoger dan in de omliggende gebieden, ook in Amsterdam is dit het geval. Het relatief warme grondwater brengt risico's met zich mee zoals het droogvallen en opwarmen van leidingen, kabels en drinkwaterleidingen in de stad.

Anderzijds liggen kansen in het toepassen van de ondiepe bodem als energiebron en als temperatuur in kelders. Hierom heeft CRUX het effect van verstedelijking en klimaatverandering op de ondiepe grondwatertemperatuur in kaart gebracht. Dit afstudeeronderzoek borduurt voort op het eerdere werk waarin CRUX een grondwatermodel van het ondiepe grondwater in Amsterdam heeft opgesteld.

Opwarming van het grondwater in stedelijke gebieden is een complex proces wat in de loop der eeuwen is ontwikkeld onder invloed van verstedelijking. Steden zijn gekenmerkt door verschillende vormen van landgebruik zoals gebouwen, bestrating, wegen, parken en oppervlaktewater. Elk type landgebruik resulteert in een andere uitwisseling van neerslag, verdamping en luchttemperatuur met het grondwater. Zo is de grondwatertemperatuur onder bestrating hoger dan onder parken, omdat straten zonlicht absorberen en langer vasthouden. Dit resulteert in een zogenaamde hitte eiland, hierdoor is de luchttemperatuur in de zomer vaak hoger in steden dan elders. Als gevolg van verstedelijking infiltreert de warmte van de stad langzaam in de bodem. Naast de stedelijke opbouw hebben natuurlijke factoren als het klimaat, grondwaterstroming en de bodemopbouw invloed op de temperatuurverdeling in de ondergrond (zie Afbeelding 1).



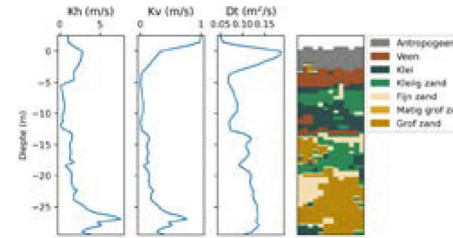
Warmtetransport model

Het grondwatermodel van Amsterdam dat door CRUX ontwikkeld is, is uitgebreid met een model voor tijdsafhankelijk warmtetransport. De code is geschreven in Python, met een koppeling met MODFLOW middels de module FloPy. De code combineert ruimtelijke variabiliteit in landgebruik, grachten, rivieren met de bodemopbouw afkomstig uit het Dinoloket, met GeoTop voor de holocene afzettingen en REGIS II voor de diepere lagen (zie Afbeelding 2). Het stoffentransport model MT3DMS is gebruikt voor het modelleren van warmtetransport in het freatisch pakket.

Dagwaarden van het KNMI-meetstation Schiphol zijn gebruikt om het maandelijks-gemiddelde van neerslag, verdamping en temperatuur te bepalen voor de periode tussen 01-01-1900 en 31-12-2019. Als voorbeeld is gekozen voor de Frederik-Hendrik buurt in Amsterdam. Hier wordt de grondwaterstroming gekenmerkt door inzijging, waardoor ondiep grondwater richting de dieper gelegen watervoerende pakketten stroomt. Hierdoor zijn klimaat en landgebruik bepalend voor de grondwatertemperatuur in de deklaag.

Een uitdaging in de modellering van warmtetransport is numerieke dispersie, waar het rasterformaat en tijdschaal voor extra spreiding van temperatuur kunnen zorgen. Het effect van numerieke dispersie is verkleind middels een fijn raster in de deklaag tot cel groottes van 10x10x0,5m.

← Afbeelding 1 De verschillende factoren die invloed hebben op de temperatuur verdeling in de Amsterdamse ondergrond en dus het grondwater, waar afhankelijk van het bodemgebruik het oppervlak een bepaalde temperatuur (T) heeft wat leidt tot een bepaalde warmte flux in de bodem (F). De geothermische flux verwarmd het grondwater vanuit de aarde maar heeft op het freatisch grondwater een gering effect.



↑ Afbeelding 2 De bodemstratificatie in de Frederik-Hendrik buurt volgens Dinoloket met bijbehorende horizontale en verticale doorlatendheid (Kh en Kv) en de thermische diffusie coëfficiënt (Dt).

Resultaten

De modelresultaten laten zien dat de grondwatertemperatuur sterk afhankelijk is van het landgebruik, waarbij zowel dichtheid en de ouderdom van de bebouwing een grote rol speelt. Zo is de gemiddelde temperatuur onder gebouwen en wegen 2 tot 4,5 °C hoger is dan onder grasland en water (zie Afbeelding 3). De modellering is onderbouwd met veldmetingen van de grondwatertemperatuur, maar betere veldmetingen resulteren in een nauwkeuriger model en resultaten.



↑ Afbeelding 3 De gemiddelde grondwater temperatuurverdeling voor de eerste 12 m onder het maaiveld in de maand Juni in de Frederik-Hendrik buurt na een modelsimulatie van 1900-2019.

Onder invloed van seizoensvariaties in temperatuur varieert de temperatuur in het freatisch pakket en in de deklaag door het jaar. De diepte waarop de temperatuurschommelingen gevonden kunnen worden hangt af van de bodemeigenschappen, grondwaterstroming, thermische eigenschappen van de bodem en grondwater en uitwisseling van lucht met de bodem. Zo dient een kleilaag als een isolerende

laag, zorgt freatische grondwaterstroming voor ruimtelijke verspreiding van warmte en verhindert het gebrek aan neerslag onder gebouwen de natuurlijke afkoeling van de bodem. Uit een gevoeligheidsanalyse volgt ook dat verticaal warmtetransport gedeven wordt door thermische diffusie door het zand heen, terwijl horizontale freatische grondwaterstroming een spreidend effect heeft waardoor de extremen in grondwatertemperatuur worden verkleind.

Voorspellende modelsimulaties voor de periode 1900-2100 aan de hand van de klimaatscenario's opgesteld door het IPCC laat zien dat de infiltratiediepte en grondwatertemperatuur verder toenemen. In 2100 kan de infiltratiediepte toe zijn genomen tot in het watervoerend pakket met een temperatuurstijging van 1-4 °C, afhankelijk van de ernst van het gekozen klimaatscenario.

Conclusie

Warmtetransport in de ondiepe bodem is een complex proces dat tijdsafhankelijk is en ruimtelijk zeer variabel. Modelling wijst uit dat over de laatste 120 jaar de freatische grondwatertemperatuur gemiddeld 3 °C is gestegen en de stijging tot ver in de deklaag is terug te vinden. Deze stijging kan onder invloed van klimaatverandering in de toekomst toenemen. Hierbij is het grondwater onder gebouwen en wegen gemiddeld warmer dan onder natuurgebieden zoals parken. De stijging van de grondwatertemperatuur heeft invloed op praktische en maatschappelijke situaties zoals de temperatuur in kelders, drinkwatervoorzieningen en de aanleg van ondiepe bodemenergiesystemen. Het benutten van de warmte in de bodem kan daarnaast ook bijdragen aan het verlagen van hittestress. De inspanningen van CRUX om het effect van verstedelijking en klimaatverandering op de grondwatertemperatuur te modelleren bieden uitgangspunten voor het ontwerp van kabels en leidingen en de aanleg van ondiepe bodemenergiesystemen.

