

WarmtelinQ Rijswijk - Leiden

Modelberekeningen bodemtemperatuur en vochtgehalte



WarmtelinQ Rijswijk - Leiden

Modelberekeningen bodemtemperatuur en vochtgehalte

Auteurs

cover: Leiding trace (bron Google Earth)

WarmtelinQ Rijswijk - Leiden

Modelberekeningen bodemtemperatuur en vochtgehalte

Opdrachtgever	WarmtelinQ
Contactpersoon	
Referenties	
Trefwoorden	warmtetransportleiding, bodemtemperatuur, vochtgehalte

Document controle

Versie	6 juli 2023
Datum	6 juli 2023
Projectnummer	11208927-001
Document ID	11208927-001-GEO-0001-v1-warmtelinq rijswijk - leiden
Pagina's	95
Status	Definitief

Auteur(s)

		Deltares
--	--	----------

Samenvatting

Via WarmtelinQ transportleidingen wordt restwarmte uit de Rotterdamse haven naar delen van de provincie Zuid Holland getransporteerd. Met deze restwarmte kunnen huizen en bedrijven worden verwarmd. Ten behoeve van de milieueffectenrapportage (m.e.r) en ter ondersteuning van het vaststellen van het provinciaal inpassingsplan moet de impact van de aan te leggen leidingen op hun omgeving worden vastgesteld. In het voorliggende onderzoek wordt de toename van de temperatuur in de ondergrond en afname van het bodemvochtgehalte als gevolg van de aanleg van WarmtelinQ Rijswijk - Leiden met modelberekeningen gekwantificeerd. Deze veranderingen in bodemcondities worden in een vervolgonderzoek ten behoeve van het m.e.r. vertaald naar de mogelijke schade aan gewassen, bomen en struiken die zich in de directe omgeving van de leiding bevinden.

Om een betrouwbare inschatting te maken van het verschil in temperatuur en bodemvochtgehalte, met en zonder leidingen, zijn er acht locaties gekozen in het leidingtracé. Deze locaties verschillen in bodemopbouw, geo-hydrologische condities en bodembedekking. Vier locaties bevinden zich in agrarisch gebied. Op één locatie liggen de leidingen onder een watergang, twee locaties hebben een grasbedekking en op één locatie liggen de leidingen onder bestrating. Voor alle locaties zijn berekeningen uitgevoerd over een periode van twee jaar. Rekenresultaten worden gepresenteerd voor een winter- en een zomersituatie. Voor de beoordeling van schade aan de omgeving worden tabellen met maandgemiddelde waarden van de bodemtemperatuur en het bodemvochtgehalte gepresenteerd.

Uit de berekeningen volgt dat de ondergrond in het profiel met de watergang volledig verzadigd blijft. In de overige profielen neemt het vochtgehalte in de bovenste laag met maximaal 35% tot 74% af in de zomer. In alle gevallen is de afname van het vochtgehalte het gevolg van het verschil in atmosferische condities in de winter en de zomer. Het effect van de warmteleiding op het vochtgehalte is verwaarloosbaar voor de acht gekozen locaties.

De toename van de bodemtemperatuur door de warmteleidingen in het profiel met de watergang bedraagt 9°C op een diepte van 30 cm onder de slootbodem, direct boven de aanvoerleiding. De uitwisseling van warmte tussen atmosfeer en ondergrond vindt hier plaats aan het wateroppervlak, 75 cm boven de slootbodem. Bij de berekening is aangenomen dat het water in de sloot stroomt. De temperatuur in het water is daardoor constant. Aanvoer van water met een lagere temperatuur wordt niet in rekening gebracht. De temperatuur in de bodem volgt de temperatuur van het oppervlaktewater.

In de overige profielen vindt de temperatuuruitwisseling plaats aan het maaiveld. Boven de leiding is de maximale temperatuursverhoging 8°C en op een diepte van 50 cm. De verhoging is 5°C en op een diepte van 30 cm en 2°C op een diepte van 10 cm. Vijf meter naast de leiding blijft de temperatuuroptename op dezelfde dieptes beperkt tot maximaal 1°C.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	4
	Lijst van tabellen	6
	Lijst van figuren	8
1	Inleiding	10
2	Opzet onderzoek	12
3	Beschikbare gegevens	13
4	Model berekeningen	33
5	Conclusies	50
6	Aanbevelingen	51
A	Bodemkaart	53
B	Bodembeschrijvingen	54
C	Atmosferische condities	62
D	Stijghoogteverloop ondergrond	63
E	Temperatuursverloop ondergrond	71
F	Beoordelingstabellen	79

Lijst van tabellen

3.1	Materiaalgegevens bovengrond.	14
3.2	Materiaalgegevens ondergrond.	15
3.3	Materiaalgegevens water en leiding.	15
3.4	Gegevens micro-klimaat model.	16
3.5	Ligging rekenpunten.	16
3.6	Ondergrondschematisatie profiel 1.	18
3.7	Pijpleidingen profiel 1.	18
3.8	Ondergrondschematisatie profiel 2.	20
3.9	Pijpleidingen profiel 2.	20
3.10	Ondergrondschematisatie profiel 3.	22
3.11	Pijpleidingen profiel 3.	22
3.12	Ondergrondschematisatie profiel 4.	24
3.13	Pijpleidingen profiel 4.	24
3.14	Ondergrondschematisatie profiel 5.	26
3.15	Pijpleidingen profiel 5.	26
3.16	Ondergrondschematisatie profiel 6.	28
3.17	Pijpleidingen profiel 6.	28
3.18	Ondergrondschematisatie profiel 7.	30
3.19	Pijpleidingen profiel 7.	30
3.20	Ondergrondschematisatie profiel 8.	32
3.21	Pijpleidingen profiel 8.	32
4.1	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.	34
4.2	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1 zonder leidingen.	34
4.3	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.	35
4.4	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1 zonder leidingen.	35
4.5	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.	36
4.6	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2 zonder leidingen.	36
4.7	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.	37
4.8	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2 zonder leidingen.	37
4.9	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.	38
4.10	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3 zonder leidingen.	38
4.11	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.	39
4.12	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3 zonder leidingen.	39
4.13	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.	40
4.14	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4 zonder leidingen.	40
4.15	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.	41
4.16	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4 zonder leidingen.	41
4.17	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.	42
4.18	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5 zonder leidingen.	42
4.19	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.	43
4.20	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5 zonder leidingen.	43
4.21	Temperatuurverloop profiel 6, gemengd oppervlaktewater met leidingen.	44
4.22	Temperatuurverloop profiel 6, gemengd oppervlaktewater zonder leidingen.	45
4.23	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.	46
4.24	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7 zonder leidingen.	46
4.25	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.	47
4.26	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7 zonder leidingen.	47
4.27	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.	48
4.28	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8 zonder leidingen.	48
4.29	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.	49

4.30	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8 zonder leidingen.	49
F.1	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.	80
F.2	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.	81
F.3	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.	82
F.4	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.	83
F.5	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.	84
F.6	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.	85
F.7	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.	86
F.8	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.	87
F.9	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.	88
F.10	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.	89
F.11	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 6 met leidingen.	90
F.12	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.	91
F.13	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.	92
F.14	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.	93
F.15	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.	94

Lijst van figuren

1.1	Trace WarmtelinQ.	10
2.1	Standaard sleufprofiel DN500/710 VPS.	12
3.1	Onverzadigd materiaal gedrag.	14
3.2	Ligging profiel 1 (bron Google Earth).	17
3.3	Kaartvlak 23, ligging profiel 1.	17
3.4	Dwarsdoorsnede profiel 1.	18
3.5	Ligging profiel 2 (bron Google Earth).	19
3.6	Kaartvlak 23, ligging profiel 2.	19
3.7	Dwarsdoorsnede profiel 2.	20
3.8	Ligging profiel 3 (bron Google Earth).	21
3.9	Kaartvlak 23, ligging profiel 3.	21
3.10	Dwarsdoorsnede profiel 3.	22
3.11	Ligging profiel 4 (bron Google Earth).	23
3.12	Kaartvlak 23, ligging profiel 4.	23
3.13	Dwarsdoorsnede profiel 4.	24
3.14	Ligging profiel 5 (bron Google Earth).	25
3.15	Kaartvlak 23, ligging profiel 5.	25
3.16	Dwarsdoorsnede profiel 5.	26
3.17	Ligging profiel 6 (bron Google Earth).	27
3.18	Kaartvlak 23, ligging profiel 6.	27
3.19	Dwarsdoorsnede profiel 6.	28
3.20	Ligging profiel 7 (bron Google Earth).	29
3.21	Kaartvlak 23, ligging profiel 7.	29
3.22	Dwarsdoorsnede profiel 7.	30
3.23	Ligging profiel 8 (bron Google Earth).	31
3.24	Kaartvlak 23, ligging profiel 8.	31
3.25	Dwarsdoorsnede profiel 8.	32
4.1	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1.	34
4.2	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1.	35
4.3	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2.	36
4.4	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2.	37
4.5	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3.	38
4.6	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3.	39
4.7	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4.	40
4.8	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4.	41
4.9	Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5.	42
4.10	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5.	43
4.11	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 6, gemengd oppervlaktewater.	44
4.12	vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7.	46
4.13	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7.	47
4.14	vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8.	48
4.15	Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8.	49
A.1	Bodemkaart.	53
B.1	Boorbeschrijving profiel 1.	54
B.2	Boorbeschrijving profiel 2.	55
B.3	Boorbeschrijving profiel 3.	56
B.4	Boorbeschrijving profiel 4.	57

B.5	Boorbeschrijving profiel 5.	58
B.6	Boorbeschrijving profiel 6.	59
B.7	Boorbeschrijving profiel 7.	60
B.8	Boorbeschrijving profiel 8.	61
C.1	KNMI metingen weerstation Voorschoten.	62
D.1	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 1, 1 februari 2020.	63
D.2	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 1, 1 augustus 2020.	63
D.3	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 2, 1 februari 2020.	64
D.4	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 2, 1 augustus 2020.	64
D.5	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 3, 1 februari 2020.	65
D.6	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 3, 1 augustus 2020.	65
D.7	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 4, 1 februari 2020.	66
D.8	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 4, 1 augustus 2020.	66
D.9	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 5, 1 februari 2020.	67
D.10	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 5, 1 augustus 2020.	67
D.11	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 6, 1 februari 2020.	68
D.12	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 6, 1 augustus 2020.	68
D.13	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 7, 1 februari 2020.	69
D.14	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 7, 1 augustus 2020.	69
D.15	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 8, 1 februari 2020.	70
D.16	Stijghoogteverloop ondergrond profiel 8, 1 augustus 2020.	70
E.1	Temperatuurverloop ondergrond profiel 1, 1 februari 2020.	71
E.2	Temperatuurverloop ondergrond profiel 1, 1 augustus 2020.	71
E.3	Temperatuurverloop ondergrond profiel 2, 1 februari 2020.	72
E.4	Temperatuurverloop ondergrond profiel 2, 1 augustus 2020.	72
E.5	Temperatuurverloop ondergrond profiel 3, 1 februari 2020.	73
E.6	Temperatuurverloop ondergrond profiel 3, 1 augustus 2020.	73
E.7	Temperatuurverloop ondergrond profiel 4, 1 februari 2020.	74
E.8	Temperatuurverloop ondergrond profiel 4, 1 augustus 2020.	74
E.9	Temperatuurverloop ondergrond profiel 5, 1 februari 2020.	75
E.10	Temperatuurverloop ondergrond profiel 5, 1 augustus 2020.	75
E.11	Temperatuurverloop ondergrond profiel 6, 1 februari 2020.	76
E.12	Temperatuurverloop ondergrond profiel 6, 1 augustus 2020.	76
E.13	Temperatuurverloop ondergrond profiel 7, 1 februari 2020.	77
E.14	Temperatuurverloop ondergrond profiel 7, 1 augustus 2020.	77
E.15	Temperatuurverloop ondergrond profiel 8, 1 februari 2020.	78
E.16	Temperatuurverloop ondergrond profiel 8, 1 augustus 2020.	78

1 Inleiding

WarmtelinQ bestaat uit twee ondergrondse warmtetransportleidingen waarmee restwarmte vanuit de Rotterdamse haven wordt getransporteerd. Met de aanvoerleiding wordt de warmte naar huizen en bedrijven in een deel van Zuid-Holland getransporteerd die daarmee duurzaam kunnen worden verwarmd. De daarnaast gelegen retourleiding voert het afgekoelde water terug naar Rotterdam waar het weer opgewarmd wordt en terug geleverd wordt aan de aanvoerleiding. Figuur 1.1 geeft een indruk van het leidingtracé.

Het deelproject WarmtelinQ Rijswijk-Leiden voorziet in de aanleg van een 20 kilometer lange aanvoer- en afvoerleiding waarmee warmtenetten in Leiden kunnen worden gevoed. De leidingen worden in eerste instantie aangesloten op het bestaande warmtenet van Leiden. Met toekomstige uitbreidingen wordt het mogelijk om nieuwe warmtenetten te voeden met de restwarmte uit het havengebied. Daarnaast kunnen ook toekomstige lokale warmtebronnen, zoals geothermie bronnen, op de leiding worden aangesloten. Met deze bronnen wordt warmte op een duurzame wijze uit de bodem gewonnen. Figuur 1.1 geeft een indruk van het leidingtracé.



Figuur 1.1 Trace WarmtelinQ.

De leidingen hebben een binnendiameter van 500 mm en een buitendiameter van 710 mm en worden aangesloten op WarmtelinQ Vlaardingen – Den Haag. Het project wordt uitgevoerd door WarmtelinQ B.V. dat onderdeel is van de Gasunie.

Als gevolg van het warmtetransport door de aanvoer- en retourleiding zal de ondergrond rond de warmtetransportleidingen opwarmen. Het voorliggende onderzoek moet uitwijzen of de temperatuursverhoging tot mogelijke gewasopbrengstverliezen in het landelijk gebied van het tracé Rijswijk-Leiden kan

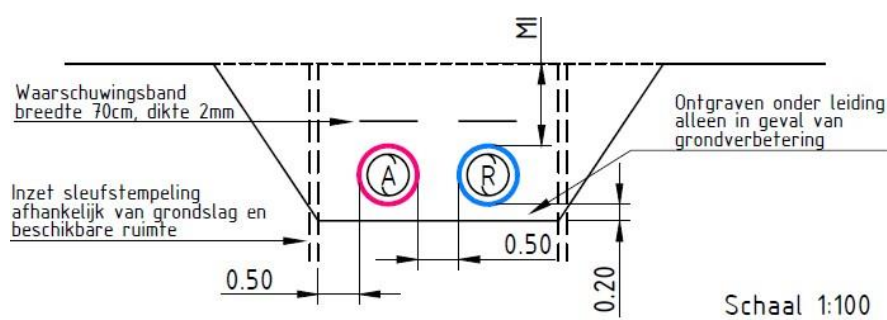
leiden. Het onderzoek bestaat uit twee delen. Het eerste deel betreft het vaststellen van de te verwachten temperatuurtoename in de bodem en de veranderingen in het bodemvochtgehalte. Het tweede deel van het onderzoek richt zich op het bepalen van mogelijke gewasschade. Het eerste deel is uitgevoerd door Deltares, het tweede deel is uitgevoerd door de WUR. De resultaten van beide onderzoeken zijn samengevat in dit rapport.

In hoofdstuk 2 wordt de opzet van het onderzoek beschreven. De beschikbare gegevens voor het onderzoek zijn samengebracht in hoofdstuk 3. Dit betreft een set van geo-hydrologische en geo-thermische materiaalparameters waarmee het fysisch gedrag van de ondergrond wordt beschreven, eigenschappen van de leidingen en eigenschappen van de bodembedekking. De temperatuurtoename in de bodem en de veranderingen van het bodemvochtgehalte zijn op basis van deze gegevens berekend. De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat conclusies en hoofdstuk 6 geeft aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

2 Opzet onderzoek

De onderzoeksvraag die wordt gesteld is: 'hoe groot is de toename van de temperatuur in de ondergrond, hoe groot is de mogelijke afname van het bodemvochtgehalte en wat is de mogelijke gewasderiving in agrarisch gebied als gevolg van de aanleg van de warmteleidingen'.

Deze vraag wordt beantwoord met behulp van tweedimensionale modelberekeningen waarmee de situatie met en zonder warmteleidingen op acht locaties wordt gesimuleerd. De onderzoekslocaties hebben een wisselende bodemopbouw en variërende geo-hydrologische condities. Vier locaties bevinden zich in agrarisch gebied, in één liggen de leidingen onder een watergang, twee hebben een grasbedekking en in één liggen de leidingen onder bestrating. Op de locaties liggen de leidingen in een standaard sleufprofiel dat is afgebeeld in figuur 2.1. De leidingen hebben een binnendiameter van 500 mm en een buitendiameter van 710 mm.



Figuur 2.1 Standaard sleufprofiel DN500/710 VPS.

De ondergrondprofielen worden afgeleid uit boringen en sonderingen die langs het leidingtracé zijn uitgevoerd. Voor de beschrijving van de bovenste grondlagen wordt de kaart met bodemfysische eigenschappen gebruikt, die door de WUR is opgesteld (Wesseling en Heidema (2023)). De bodemfysische eigenschappen zelf zijn vastgelegd in de Staring reeks (Wösten *et al.* (2001)). De thermische eigenschappen van de ondergrond en het niveau van het grondwater worden bepaald met het landelijk geohydrologisch model (TNO (2020b)) en afgeleid uit peilbuismetingen die door de Antea group zijn verricht (Van Meer (2023)).

Bij de berekeningen wordt de temperatuur in de warmteleidingen constant verondersteld en worden tijdsafhankelijke meteorologische condities aan maaiveld opgelegd. Deze condities volgen uit KNMI metingen van het weerstation Voorschoten (knm). De grondwaterstromings- en bodemtemperatuurberekeningen worden gemaakt met het eindige elementen model DgFlow dat door Deltares is ontwikkeld (Van Esch en Kruse (2020), Van Esch *et al.* (2021)). De gewasopbrengst van gras wordt voor de situatie met warmteleidingen en zonder leidingen bepaald. Daarvoor wordt de gewasgroeimodule in WOFOST (Kroes en Van Dam (2017)) gebruikt. Uitgangspunten voor de WOFOST berekeningen zijn de met DgFlow berekende daggemiddelde waarden van de temperatuur, zuigspanning en bodemvochtgehalte op een diepte van 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m, 0,4 m, 0,5 m, 0,75 m en 1,0 m beneden maaiveld. Deze waarden worden direct boven de leiding bepaald en op een afstand van 1,0 m, 2,0 m, 5,0 m en 10 m vanaf de leiding berekend.

3 Beschikbare gegevens

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gegevens waarmee de berekeningen worden uitgevoerd. Eerst worden geo-hydrologische en geo-thermische parameters gepresenteerd waarmee de ondergrond op de onderzoekslocaties wordt beschreven. Vervolgens wordt een beschrijving gegeven van de leidingen met de thermische parameters die nodig zijn voor het beschrijven van de warmteuitwisseling met de ondergrond. Voor de uitwisseling van warmte tussen de ondergrond en de atmosfeer worden de meteorologische condities toegelicht en wordt een overzicht gegeven van de condities die aan het maaiveld worden opgelegd. De rekenresultaten worden verzameld in een aantal rekenpunten naast de aanvoerleiding, de ligging van de rekenpunten wordt toegelicht. Tenslotte worden locatiespecifieke gegevens gepresenteerd voor de acht onderzoekslocaties.

Ondergrond

Met het rekenmodel DgFlow worden gekoppelde grondwaterstromings- en warmtetransportberekeningen uitgevoerd. Daarbij wordt de stroming van grondwater door de verzadigde ondergrond onder de grondwaterspiegel en door de onverzadigde zone boven de grondwaterspiegel beschreven. Voor deze berekeningen moeten de fysische eigenschappen van de grondsoorten waaruit de ondergrond is opgebouwd worden bepaald. Voor een stromingsberekening zijn dat de porositeit n , de verzadigde doorlatendheid K en de samendrukbaarheid van het korrel skelet α . In de onverzadigde zone zijn de poriën gedeeltelijk gevuld met water waardoor de doorlatendheid afneemt. De verzadigingsgraad en de relatieve doorlatendheid worden berekend met het Van Genuchten model waarvoor de minimale verzadigingsgraad S_r , de maximale verzadigingsgraad S_s en een drietal materiaalparameters g_a , g_n en g_l per grondsoort moeten worden opgegeven.

De warmteberekening maakt gebruik van de dichtheid ρ^s en de warmtecapaciteit c^s van de korrels en de dichtheid ρ^w en warmtecapaciteit c^w van het water in de poriën. Voor de bepaling van de dichtheid en warmtecapaciteit van de grond worden deze waarden gewogen met de porositeit en de mate van verzadiging. De mate van verzadiging volgt uit de stromingsberekening. De thermische geleidbaarheid van de korrels wordt beschreven met twee parameters λ^a en λ^b de geleidbaarheid van water met λ^w . Met deze kentallen kan de geleidbaarheid van de grond bij verschillende waarden van de verzadigingsgraad door het model worden berekend.

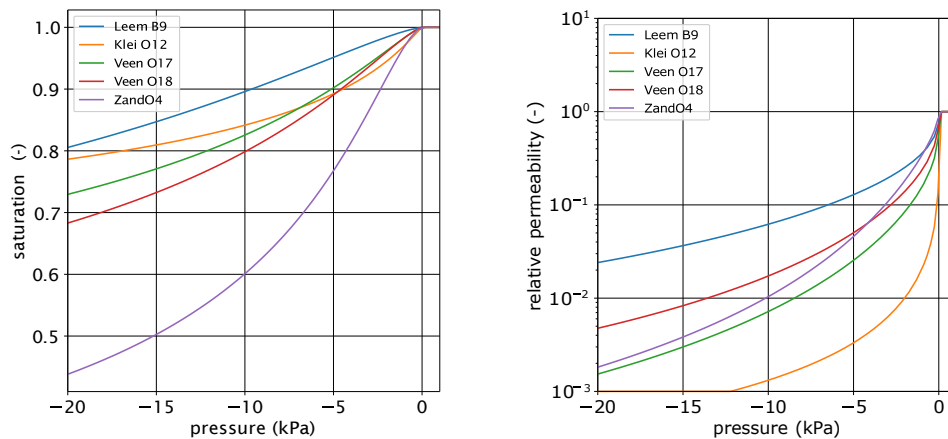
Tabel 3.1 bevat de geohydrologische en geothermische eigenschappen van bovengronden die gedeeltelijk verzadigd kunnen zijn. Voor deze gronden wordt de relatie tussen verzadigingsgraad, relatieve doorlatendheid en waterdruk afgebeeld in figuur 3.1. Ter illustratie worden de dichtheden van droge grond ρ^{dry} en van verzadigde grond ρ^{wet} in de tabel gepresenteerd evenals de warmtecapaciteit en thermische geleidbaarheid van droge grond c^{dry} , λ^{dry} en volledig verzadigde grond c^{wet} , λ^{wet} . In tabel 3.2 zijn de materiaalgegevens voor de dieper gelegen lagen samengevat die onder veldcondities verzadigd zijn.

De bodemprofielen worden afgeleid uit de Bodemkaart (Wesseling en Heidema (2023), bijlage A), boringen langs het leidingtracé (Van Meer (2023), bijlage B) en het 2D Ondergrondmodel (Van Meer (2023)). De fysische eigenschappen van de materiaaltypen in de bodemkaart zijn vastgelegd in de Staring reeks (Wösten *et al.*

(2001)).

Tabel 3.1 Materiaalgegevens bovengrond.

parameter	LeemB9	KleiO12	VeenO17	VeenO18	ZandO4
n (-)	0,43	0,49	0,89	0,57	0,35
K (m/d)	0,1080	0,1080	0,3045	0,3450	0,5300
a (1/MPa)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
S_r (-)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S_s (-)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
g_a (1/m)	0,650	3,840	1,450	1,380	2,160
g_n (-)	1,325	1,113	1,252	1,320	1,540
g_l (-)	-2,16	-6,74	1,02	-1,20	-0,52
ρ^s (kg/m ³)	2370	2370	1500	1500	2650
c^s (J/kgK)	2000	2000	1200	1200	700
λ^a (W/mK)	1,99	1,99	0,35	0,35	0,15
λ^b (W/mK)	0,00	0,00	0,00	0,00	3,06
a_i (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
a_t (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ρ^{dry} (kg/m ³)	1351	1209	165	645	1722
ρ^{wet} (kg/m ³)	1781	1699	1055	1215	2072
c^{dry} (J/kgK)	1140	1020	132	516	455
c^{wet} (J/kgK)	2938	3069	3854	2900	1919
λ^{dry} (W/mK)	1,13	1,01	0,04	0,15	0,10
λ^{wet} (W/mK)	1,39	1,31	0,57	0,49	2,30



Figuur 3.1 Onverzadigd materiaal gedrag.

Tabel 3.2 Materiaalgegevens ondergrond.

parameter	Zand	Klei	Veen
n (-)	0,35	0,56	0,80
K (m/d)	1,0000	0,0100	0,0200
a (1/MPa)	0,0000	0,0000	0,0000
ρ^s (kg/m ³)	2650	2350	1500
c^s (J/kgK)	700	500	1200
λ^a (W/mK)	0,15	0,18	0,35
λ^b (W/mK)	3,06	3,30	0,00
a_t (m)	0,00	0,00	0,00
a_t (m)	0,00	0,00	0,00
ρ^{wet} (kg/m ³)	2072	1594	1100
c^{wet} (J/kgK)	1919	2562	3586
λ^{wet} (W/mK)	2,30	1,87	0,55

Warmteleidingen

De thermische eigenschappen van de leidingen zijn samengevat in tabel 3.3. De DN500/710 leidingen, die in het tracé Rijswijk - Leiden worden toegepast, zijn samengesteld uit een stalen binnenbuis met een PE-coating aan de binnenzijde, een PE-buitenbuis en een isolatielaag van PUR. In de tabel worden waarden voor de dichtheid ρ , de specifieke warmtecapaciteit c en de thermische geleidbaarheid λ van de materialen waaruit de leidingen zijn samengesteld, gegeven.

Tabel 3.3 Materiaalgegevens water en leiding.

parameter	Pur	Staal	PE	Water
ρ (kg/m ³)	90	8050	950	1000
c (J/kgK)	1470	500	1880	4182
λ (W/mK)	0,02	45,00	0,47	0,60

Meteorologische condities

Bijlage C bevat de KNMI metingen in Voorschoten die gebruikt worden als randvoorwaarden voor de berekeningen. In figuur C.1 is achtereenvolgens de atmosferische temperatuur, de korte golf straling door instraling van de zon, de windsnelheid, de relatieve luchtvochtigheid en de gemeten neerslag voor de jaren 2019 en 2020 afgebeeld. Met deze gegevens wordt de verdamping berekend en de netto instroming in de bodem bepaald. De parameters van het micro-klimaat model, dat in dit onderzoek wordt toegepast, zijn samengevat in tabel 3.4. De locatie van het KNMI weerstation Voorschoten wordt geven met de latitude χ_{lat} en de altitude Z_{alt} van het station. In landelijk gebied (gras) wordt de begroeiing beschreven met de gewashoogte h_c en de weerstand r_s die het gewas geeft op de wind. In stedelijk gebied (tegels) geven deze parameters een beschrijving voor de weerstand van de bebouwde omgeving. De reflectiecoëfficiënt α bepaalt de mate absorptie van de korte golf straling op het oppervlak.

Tabel 3.4 Gegevens micro-klimaat model.

parameter	gras	tegels	water
x_{lat} (degN+)	52,141	52,141	52,141
z_{alt} (m)	-1,10	-1,10	-1,10
h_c (cm)	12,0	50,0	12,0
r_s (s/m)	70,0	30,0	0,0
a (-)	0,23	0,12	0,06

Rekenpunten

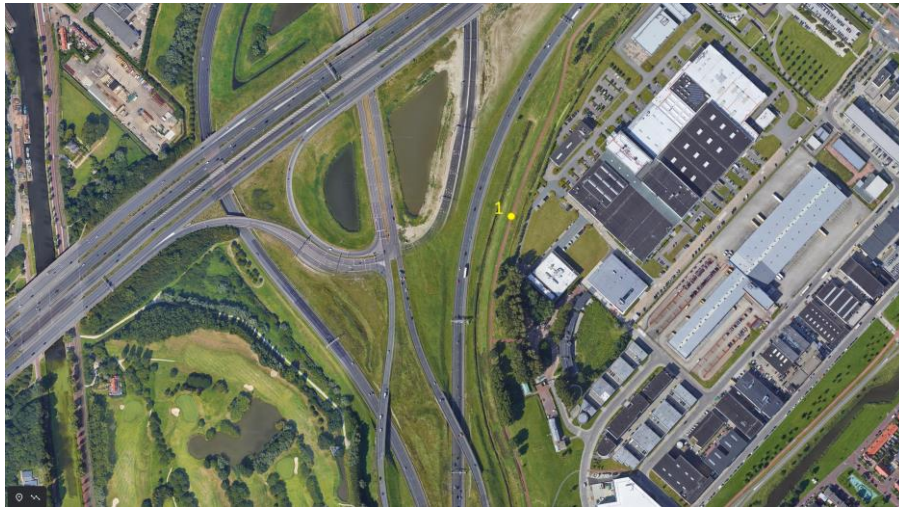
Met de eindige elementen berekeningen wordt het vochtgehalte in de ondergrond en de bodemtemperatuur in een verticale doorsnede bepaald. De resultaten worden in dit rapport ter illustratie gepresenteerd voor de eerste dag van de maanden februari en augustus. Daarnaast wordt het verloop in de tijd voor een aantal punten in de ondergrond grafisch weergegeven. De posities van deze rekenpunten zijn samengevat in tabel 3.5, waarin l de afstand van de buitenwand van de aanvoerleiding tot het rekenpunt weergeeft en d de diepte van het rekenpunt ten opzichte van maaiveld is. De punten p1 tot en met p7 bevinden zich direct boven het hart van de leiding.

Tabel 3.5 Ligging rekenpunten.

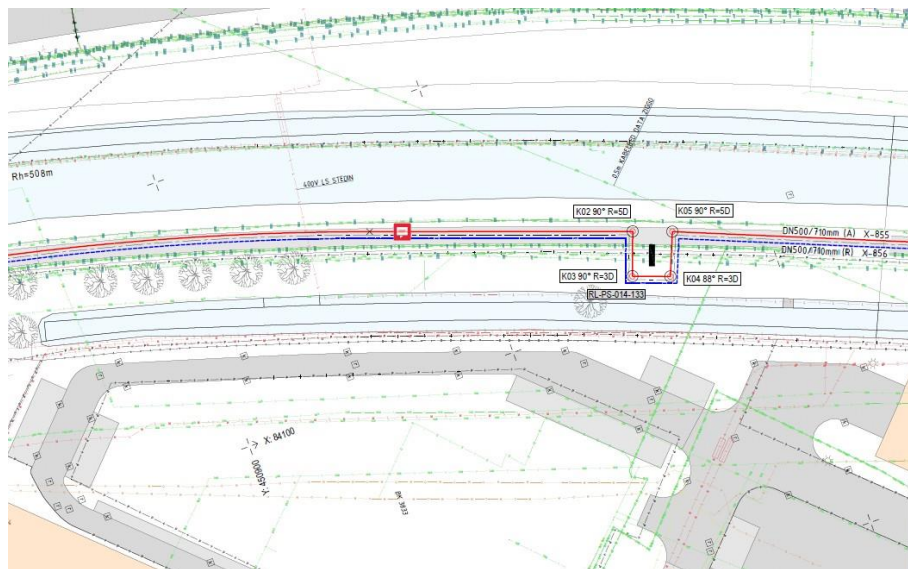
$l/d(m)$	boven	1,00	2,00	5,00	10,00
-0,10	p1	p8	p15	p22	p29
-0,20	p2	p9	p16	p23	p30
-0,30	p3	p10	p17	p24	p31
-0,40	p4	p11	p18	p25	p32
-0,50	p5	p12	p19	p26	p33
-0,75	p6	p13	p20	p27	p34
-1,00	p7	p14	p21	p28	p35

Onderzoekslocatie 1

Onderzoekslocatie 1 is gekozen in de buurt van het Prins Clausplein, waar de Rijkswegen A12 en A4 elkaar kruisen, en ligt aan de rand van de Vinex locatie Ypenburg. Zoals in het bovenaanzicht van figuur 3.2 is te zien is het maaiveld op de gekozen locatie bedekt met gras. In figuur 3.3 is een deel van kaartvlak 14 van het leidingtracé weergegeven en is het profiel gemarkeerd.



Figuur 3.2 Ligging profiel 1 (bron Google Earth).



Figuur 3.3 Kaartvlak 23, ligging profiel 1.

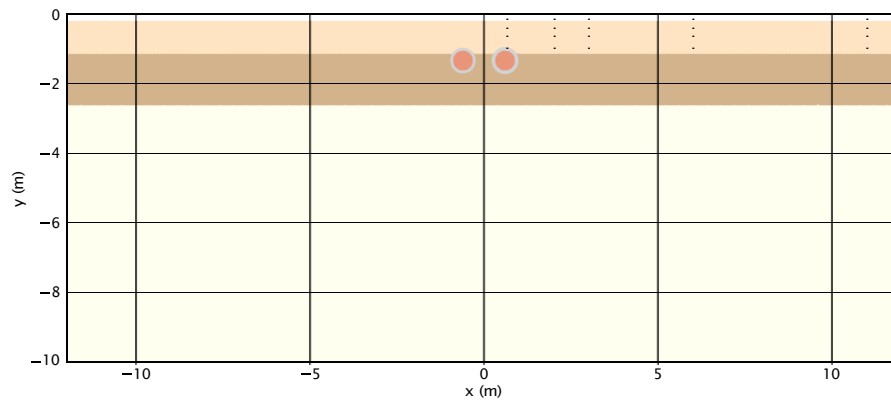
Het bodemprofiel is afgeleid uit de Bodemkaart en boring BHR359914 (TNO (2020a), bijlage B). De ondergrond in dit profiel bestaat uit leem, klei en zandlagen, de zandlaag vanaf mv -2,67 m staat in verbinding met het watervoerend pakket. Het profiel is samengevat in tabel 3.6 waarin y_b de bovenkant van de laag en y_o de onderkant van de laag ten opzichte van maaiveld weergeeft. Het maaiveld ligt op NAP -0,24 m. In profiel 1 ligt de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket NAP -1,54 m (TNO (2020b)).

Tabel 3.6 Ondergrondschematisatie profiel 1.

grond	y_b (m)	y_o (m)
LeemB9	0,00	-0,25
KleiO12	-0,25	-1,20
Klei	-1,20	-2,67
Zand	-2,67	-10,00

De fysische eigenschappen van leem type B9 en klei type O12 zijn overgenomen uit de Staring reeks (Wösten *et al.* (2001)) en zijn verzameld in Tabel 3.1. In tabel 3.2 zijn de materiaalgegevens van de dieper gelegen lagen klei en veen samengevat.

De verticale doorsnede waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd is afgebeeld in figuur 3.4. In deze figuur zijn de leidingen opgenomen en zijn de rekenpunten afgebeeld die zich direct boven de leiding en op een afstand van 1 m, 2 m, 5 m en 10 m naast de aanvoerleiding bevinden (tabel 3.5).



Figuur 3.4 Dwarsdoorsnede profiel 1.

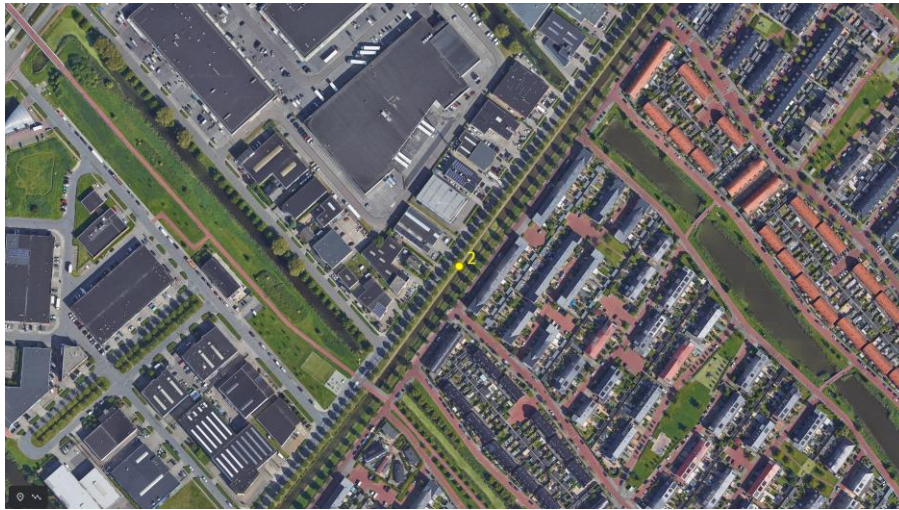
De bovenkant van de leidingen ligt volgens de routekaart op NAP -1,27 m. Leiding gegevens zijn opgenomen in tabel 3.7. Hierin is het middelpunt van de leiding gegeven door x en y . De binnen- en de buitenstraal van de leidingen is aangeduid met r_i en r_o , T is de temperatuur in de leiding. Uit de tabel volgt een tussenafstand van 50 cm en een gronddekking van 1,03 m.

Tabel 3.7 Pijpleidingen profiel 1.

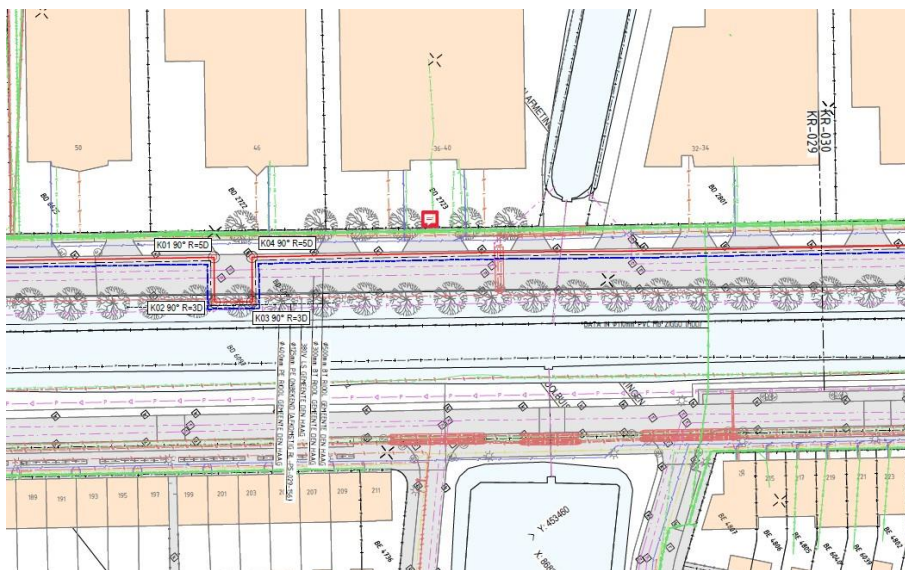
leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-1,365	250	335	70,0
heat supply	0,605	-1,365	250	355	120,0

Onderzoekslocatie 2

Onderzoekslocatie 2 ligt in kaartvlak 29 van het leidingtracé zoals aangegeven in figuur 3.6. Het profiel is gekozen in de Vinex locatie Leidschenveen en de leidingen liggen onder een trottoir en een weg. Figuur 3.5 geeft een bovenaanzicht van de locatie met de plaats van het profiel.



Figuur 3.5 Ligging profiel 2 (bron Google Earth).



Figuur 3.6 Kaartvlak 23, ligging profiel 2.

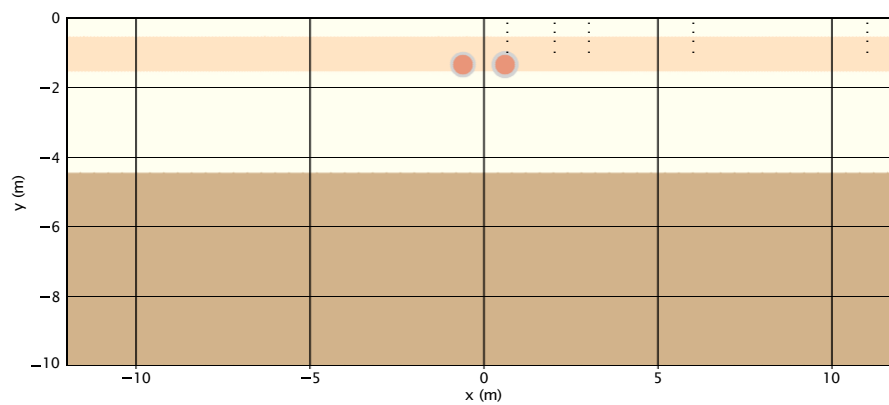
In het tweede profiel is een tussenzandlaag met een hogere doorlatendheid en warmtegeleiding ingesloten door twee kleilagen. Op grotere diepte wordt veen aangetroffen met daaronder het watervoerend pakket. Het bodemprofiel is gegeven in tabel 3.8. Het profiel is afgeleid uit de Bodemkaart en boring BHR360255 (TNO (2020a), bijlage B). Het maaiveld ter plaatse van het profiel ligt op NAP -3,78 m. In het tweede profiel ligt de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket op NAP 0,21 m (TNO (2020b)).

Tabel 3.8 Ondergrondschematisatie profiel 2.

grond	y_b (m)	y_o (m)
ZandO4	0,00	-0,58
KleiO12	-0,58	-1,58
Zand	-1,58	-4,48
Klei	-4,48	-10,88
Veen	-10,88	-11,48

De fysische eigenschappen van zand type O4 en klei type O12 zijn overgenomen uit de Staring reeks (Wösten *et al.* (2001)) en zijn verzameld in Tabel 3.1.

De ondergrondbeschrijving volgens het rekenmodel is afgebeeld in figuur 3.7. De bovenkant van de leidingen in het profiel ligt volgens de routekaart op NAP -4,78 m. Leidinggegevens zijn opgenomen in tabel 3.9. Uit de tabel volgt een tussenafstand van 50 cm en een gronddekking van 1,00 m.



Figuur 3.7 Dwarsdoorsnede profiel 2.

Tabel 3.9 Pijpleidingen profiel 2.

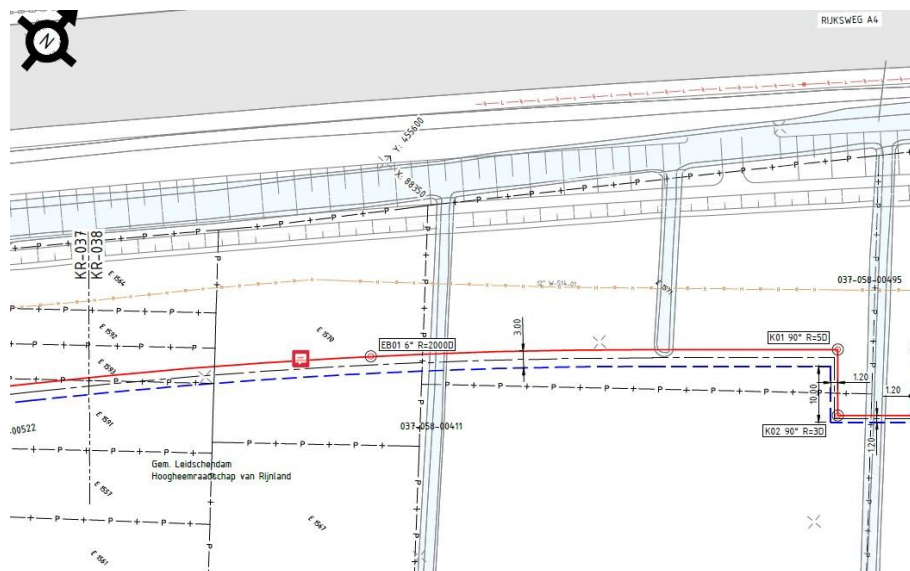
leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-1,355	250	335	70,0
heat supply	0,605	-1,355	250	355	120,0

Onderzoekslocatie 3

Onderzoekslocatie 3 ligt in agrarisch gebied, ten zuiden van de Rijksweg A4. Figuur 3.9 geeft de plaats van de onderzoekslocatie aan in een bovenaanzicht en figuur 3.8 geeft de locatie in kaartvlak 38 van het leidingtracé.



Figuur 3.8 Ligging profiel 3 (bron Google Earth).



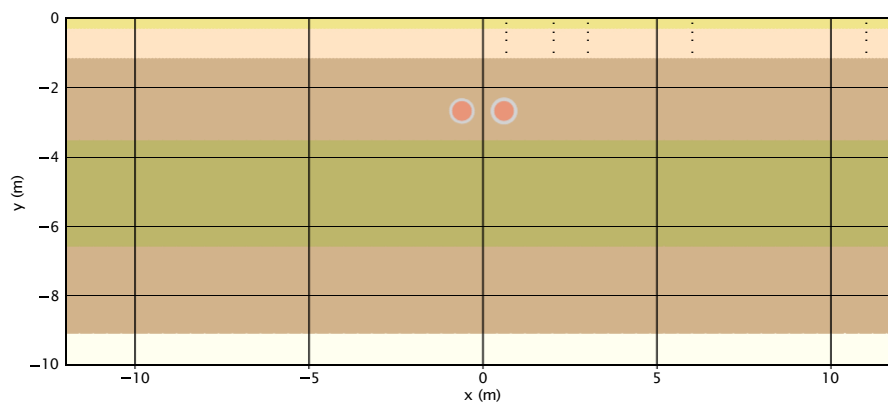
Figuur 3.9 Kaartvlak 23, ligging profiel 3.

Het bodemprofiel volgens tabel 3.10 is afgeleid uit de beschrijving van boring B4001 (Van Meer (2023), bijlage B). De bodem bestaat uit klei- en veenlagen, het maaiveld ligt op NAP -4,39 m. In dit profiel ligt de grondwaterspiegel in het eerste watervoerende pakket NAP -3,64 m. Het polderpeil op NAP -4,69 m. Door dit verschil treedt een opwaarts gerichte grondwaterstroming op.

Tabel 3.10 Ondergrondschematisatie profiel 3.

grond	y_b (m)	y_o (m)
VeenO18	0,00	-0,35
KleiO12	-0,35	-1,20
Klei	-1,20	-3,55
Veen	-3,55	-6,60
Klei	-6,60	-9,10
Zand	-9,10	-10,00

De schematische weergave van de ondergrond is afgebeeld in figuur 3.10 en leiding gegevens zijn verzameld in tabel 3.11. Volgens deze tabel is de afstand tussen de leidingen 50 cm en is de gronddekking 2,40 m. De bovenkant van de leidingen in het profiel ligt volgens de routekaart op NAP -6,79 m.



Figuur 3.10 Dwarsdoorsnede profiel 3.

Tabel 3.11 Pijpleidingen profiel 3.

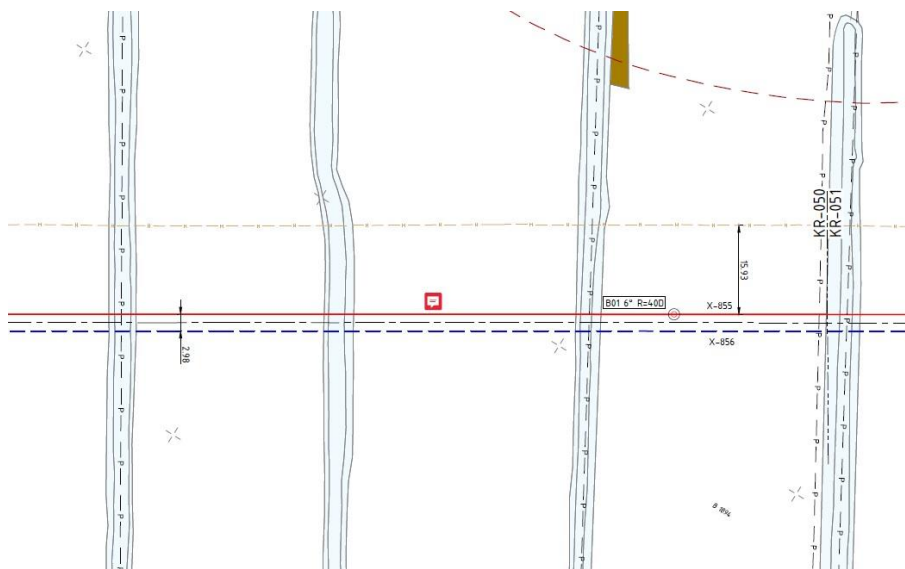
leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-2,685	250	335	70,0
heat supply	0,605	-2,685	250	355	120,0

Onderzoekslocatie 4

Onderzoekslocatie 4 ligt evenals profiel 3 in agrarisch gebied, ten zuiden van de Rijksweg A4. Figuur 3.12 geeft de plaats van het profiel aan en in figuur 3.11 is de locatie in kaartvlak 50 van het leidingtracé aangegeven.



Figuur 3.11 Ligging profiel 4 (bron Google Earth).



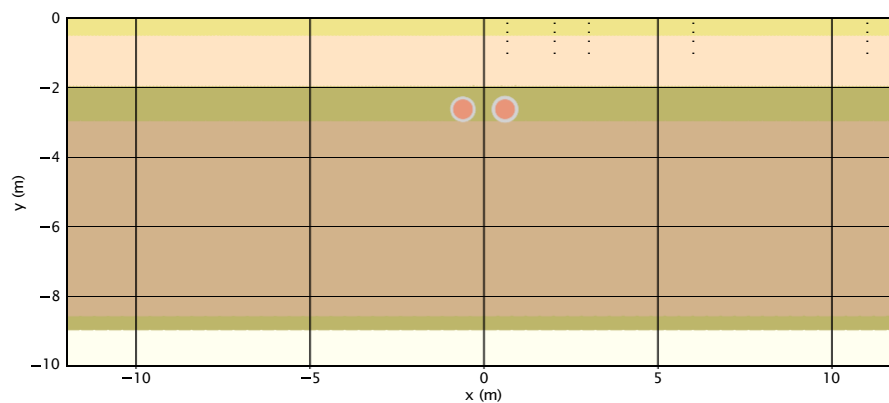
Figuur 3.12 Kaartvlak 23, ligging profiel 4.

Volgens de bodembeschrijving van boring B5204 (Van Meer (2023), bijlage B) bestaat de ondergrond uit klei en veen met daaronder het eerste watervoerend pakket waarvan de bovenkant op 9 m beneden maaiveld ligt. Het maaiveld ter plaatse van het profiel ligt op NAP -4,46 m. De grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket is NAP -2,51 m en het polderpeil ligt op NAP -4,76 m. Het opgestelde bodemprofiel is weergegeven in tabel 3.12.

Tabel 3.12 Ondergrondschematisatie profiel 4.

grond	y_b (m)	y_o (m)
VeenO18	0,00	-0,55
KleiO12	-0,55	-2,00
Veen	-2,00	-3,00
Klei	-3,00	-8,60
Veen	-8,60	-9,00
Zand	-9,00	-10,00

De verticale snede waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd is afgebeeld in figuur 3.13. De bovenkant van de leidingen in het profiel ligt volgens de routekaart op NAP -6,74 m. De leidinggegevens zijn samengevat in tabel 3.13. De afstand tussen de leidingen is 50 cm en de gronddekking is 2,28 m.



Figuur 3.13 Dwarsdoorsnede profiel 4.

Tabel 3.13 Pijpleidingen profiel 4.

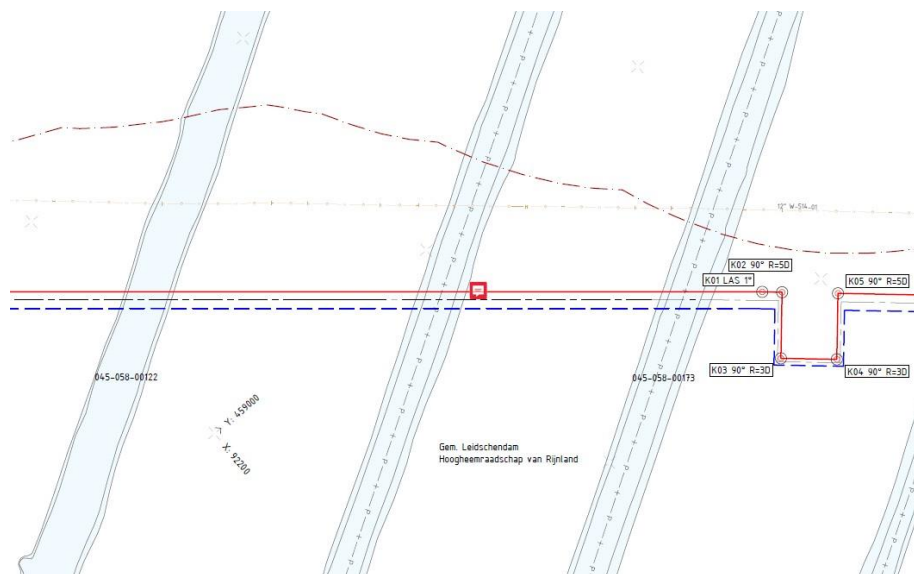
leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-2,635	250	335	70,0
heat supply	0,605	-2,635	250	355	120,0

Onderzoekslocatie 5

Onderzoekslocatie 5 ligt in kaartvlak 38 van het leidingtracé waarvan een deel is afgebeeld in figuur 3.14. Het profiel ligt in agrarisch gebied, ten zuiden van de Rijksweg A4. Figuur 3.15 geeft de plaats van het profiel aan in een bovenaanzicht.



Figuur 3.14 Ligging profiel 5 (bron Google Earth).



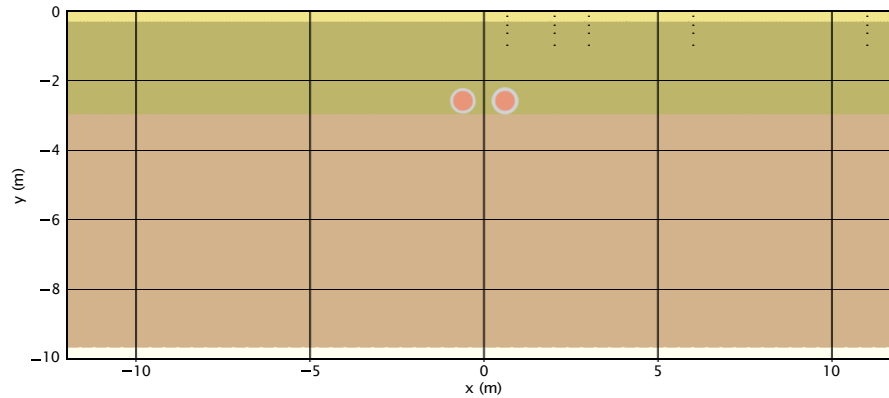
Figuur 3.15 Kaartvlak 23, ligging profiel 5.

In het vijfde profiel ligt de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket NAP -2,41 m en ligt het polderpeil op NAP -2,26 m. In dit profiel treedt dus een neerwaartse grondwaterstroming op. Het bodemprofiel volgens tabel 3.14 is afgeleid uit boring B5705 (Van Meer (2023), bijlage B), de Bodemkaart en het 2D-Ondergrondmodel (Van Meer (2023)). Het maaiveld ter plaatse van het profiel ligt op NAP -1,86 m.

Tabel 3.14 Ondergrondschematisatie profiel 5.

grond	y_b (m)	y_o (m)
VeenO18	0,00	-0,35
Veen	-0,35	-1,20
Veen	-1,20	-3,00
Klei	-3,00	-9,70
Zand	-9,70	-10,00

De ondergrondschematisatie is afgebeeld in figuur 3.16. De bovenkant van de leidingen in het profiel ligt volgens de routekaart op NAP -4,10 m. De leidinggegevens zijn verzameld in tabel 3.15. Volgens deze tabel is de afstand tussen de leidingen 50 cm en is de gronddekking 2,24 m.



Figuur 3.16 Dwarsdoorsnede profiel 5.

Tabel 3.15 Pijpleidingen profiel 5.

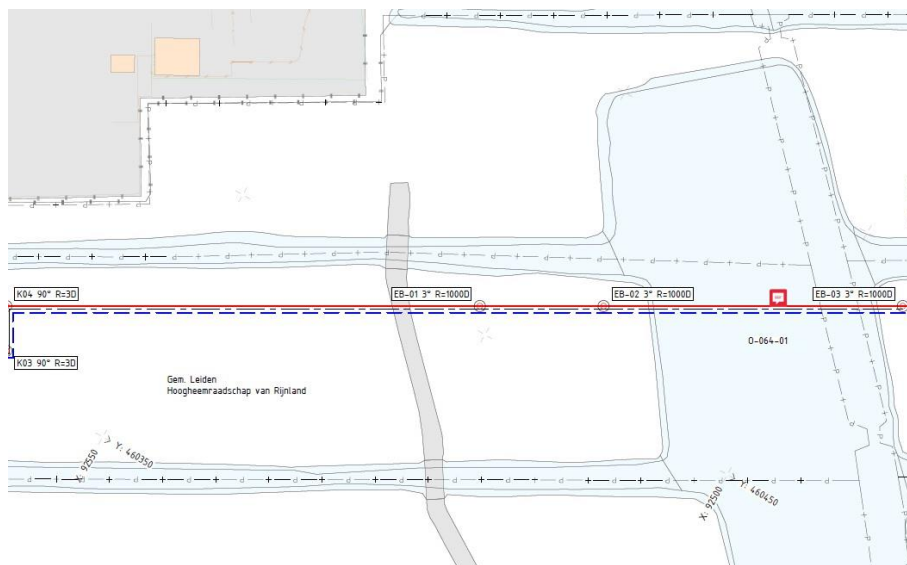
leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-2,595	250	335	70,0
heat supply	0,605	-2,595	250	355	120,0

Onderzoekslocatie 6

Onderzoekslocatie 6 ligt ten noord-oosten van de in aanleg zijnde Rijnland route (N434) die de Rijkswegen A4 en A44 verbindt. Het profiel is gekozen ter plaatse van een watergang, de locatie is opgenomen in figuur 3.17. Het profiel ligt in kaartvlak 64 van het leidingtracé zoals afgebeeld in figuur 3.18.



Figuur 3.17 Ligging profiel 6 (bron Google Earth).



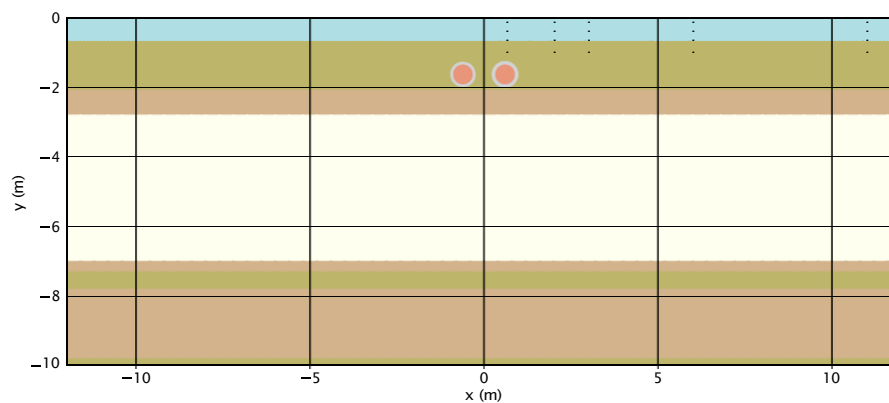
Figuur 3.18 Kaartvlak 23, ligging profiel 6.

Het bodemprofiel volgens tabel 3.16 is afgeleid uit boring MB02 (bijlage B) en de Bodemkaart. Volgens de boorbeschrijving is de ondergrond opgebouwd uit klei-, veen- en zandlagen. De bodem van de watergang ter plaatse van het profiel ligt op NAP -3,17 m en de waterhoogte is 75 cm. In profiel 6 ligt de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket NAP -3,69 m (TNO (2020b)).

Tabel 3.16 Ondergrondschematisatie profiel 6.

grond	y_b (m)	y_o (m)
Water	0,00	-0,70
Veen	-0,70	-2,10
Klei	-2,10	-2,81
Zand	-2,81	-7,01
Klei	-7,01	-7,31
Veen	-7,31	-7,81
Klei	-7,81	-9,81
Veen	-9,81	-10,00

De verticale doorsnede waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd is afgebeeld in figuur 3.19. In deze figuur zijn de leidingen opgenomen en zijn de rekenpunten afgebeeld die zich direct boven de aanvoerleiding en op een afstand van 1 m, 2 m, 5 m en 10 m naast deze leiding bevinden (tabel 3.5).



Figuur 3.19 Dwarsdoorsnede profiel 6.

De bovenkant van de leidingen in het profiel ligt volgens de routekaart op NAP -4,45 m. Leidinggegevens zijn opgenomen in tabel 3.7. Uit de tabel volgt een tussenafstand van 50 cm en een gronddekking van 1,28 m.

Tabel 3.17 Pijpleidingen profiel 6.

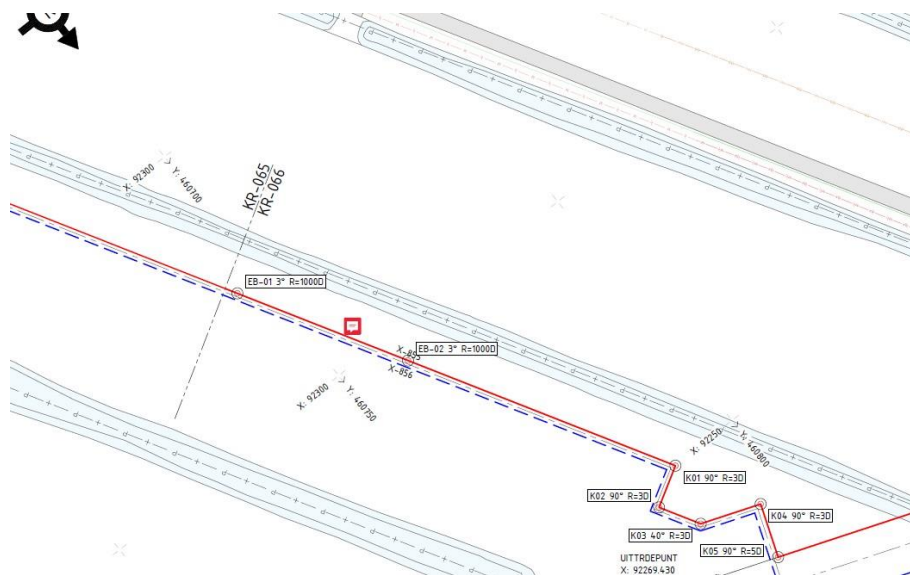
leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-1,635	250	335	70,0
heat supply	0,605	-1,635	250	355	120,0

Onderzoekslocatie 7

Onderzoekslocatie 7 ligt 300 m ten noord-westen van profiel 6 in agrarisch gebied. De locatie is opgenomen in figuur 3.20. Het profiel ligt in kaartvlak 66 van het leidingtracé zoals afgebeeld in figuur 3.21.



Figuur 3.20 Ligging profiel 7 (bron Google Earth).



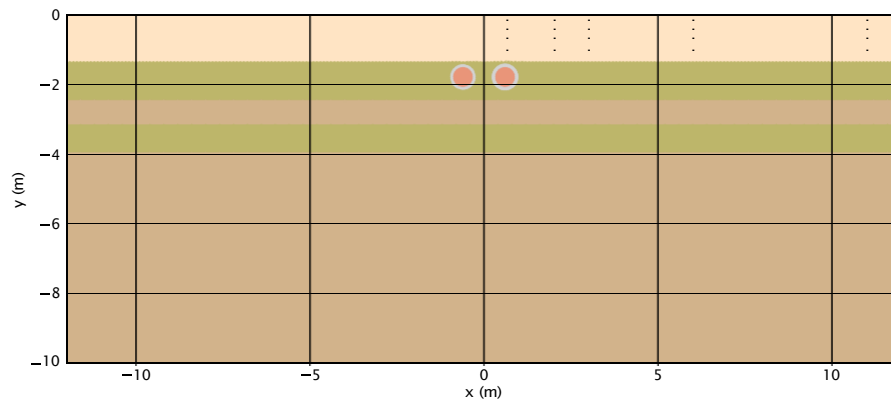
Figuur 3.21 Kaartvlak 23, ligging profiel 7.

Het bodemprofiel volgens tabel 3.16 is afgeleid uit boring MB03 (bijlage B) en de Bodemkaart. Het maaiveld ter plaatse van het profiel ligt op NAP -1,26 m. In profiel 7 ligt de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket NAP -1,77 m (TNO (2020b)).

Tabel 3.18 Ondergrondschematisatie profiel 7.

grond	y_b (m)	y_o (m)
KleiO12	0,00	-1,38
Veen	-1,38	-2,48
Klei	-2,48	-3,18
Veen	-3,18	-3,98
Klei	-3,98	-11,38

De verticale doorsnede waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd is afgebeeld in figuur 3.22. In deze figuur zijn de leidingen opgenomen en zijn de rekenpunten afgebeeld die zich naast en direct boven de leiding bevinden (tabel 3.5).



Figuur 3.22 Dwarsdoorsnede profiel 7.

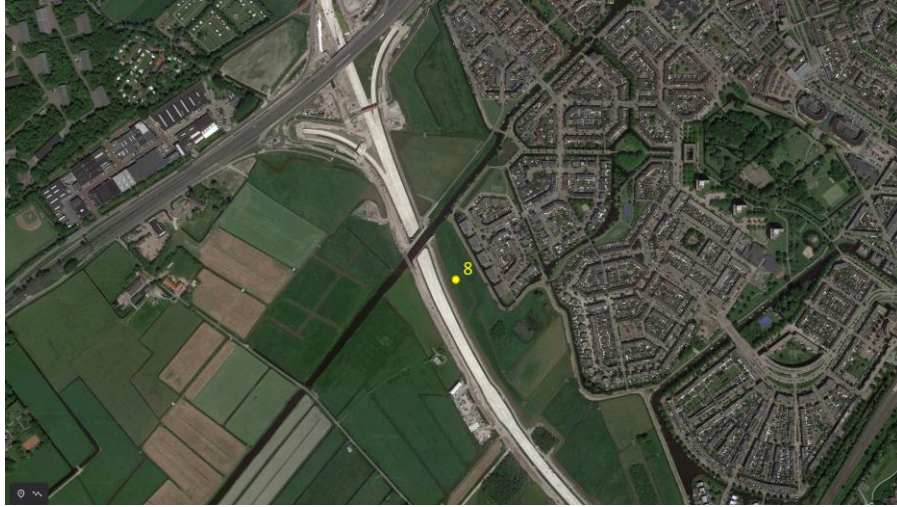
De bovenkant van de leidingen in het profiel ligt volgens de routekaart op NAP -2,70 m. Leidinggegevens zijn opgenomen in tabel 3.19. Hierin het middelpunt van de leiding is aangegeven met x en y , de binnen- en buitenstraal met r_i en r_o . Uit de tabel volgt een tussenafstand van 50 cm en een gronddekking van 1,44 m.

Tabel 3.19 Pijpleidingen profiel 7.

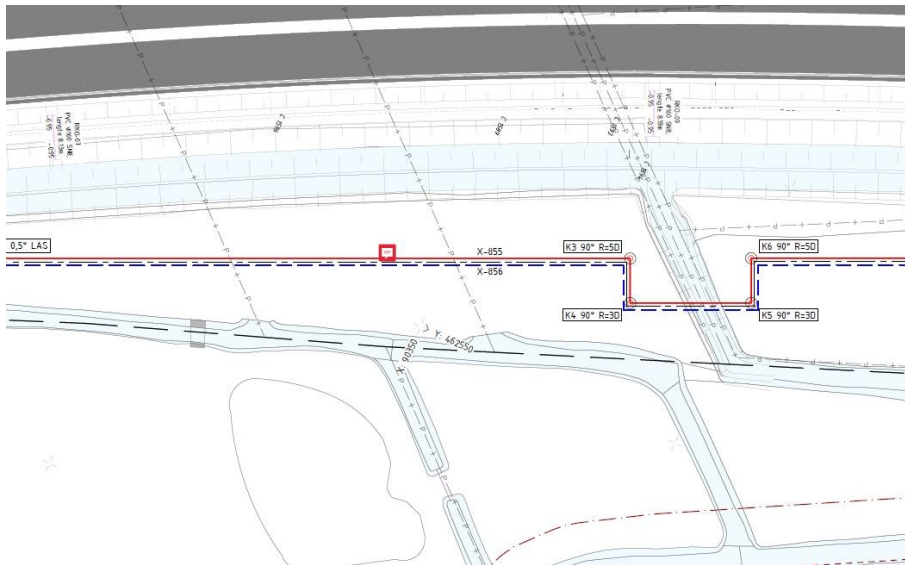
leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-1,795	250	335	70,0
heat supply	0,605	-1,795	250	355	120,0

Onderzoekslocatie 8

Onderzoekslocatie 8 ligt eveneens ten noord-oosten van de in aanleg zijnde Rijnland Route dicht bij de aansluiting met de Rijksweg A44. Het profiel is gekozen in agrarisch gebied, de locatie is aangegeven in figuur 3.23. Het profiel ligt in kaartvlak 75 van het leidingtracé zoals afgebeeld in figuur 3.24.



Figuur 3.23 Ligging profiel 8 (bron Google Earth).



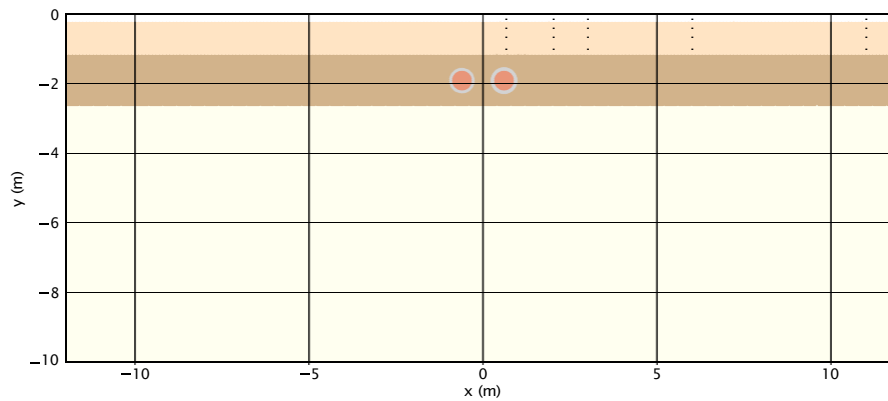
Figuur 3.24 Kaartvlak 23, ligging profiel 8.

In het laatste profiel ligt de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket op NAP -1,15 m (TNO (2020b)). Het bodemprofiel volgens tabel 3.20 is afgeleid uit boring MB09 (bijlage B) en de Bodemkaart. Het maaiveld ter plaatse van het profiel ligt op NAP -0,78 m.

Tabel 3.20 Ondergrondschematisatie profiel 8.

grond	y_b (m)	y_o (m)
LeemB9	0,00	-0,25
KleiO12	-0,25	-1,20
Klei	-1,20	-2,67
Zand	-2,67	-10,00

De verticale doorsnede waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd is afgebeeld in figuur 3.25. De bovenkant van de leidingen in het profiel ligt volgens de routekaart op NAP -2,34 m. Leiding gegevens zijn opgenomen in tabel 3.21. Uit de tabel volgt een tussenafstand van 50 cm en een gronddekking van 1,56 m.



Figuur 3.25 Dwarsdoorsnede profiel 8.

Tabel 3.21 Pijpleidingen profiel 8.

leiding	x (m)	y (m)	r_i (mm)	r_o (mm)	T (°C)
heat return	-0,605	-1,915	250	335	70,0
heat supply	0,605	-1,915	250	355	120,0

4 Model berekeningen

De grondwaterstroming en warmtetransportberekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen model DgFlow (Van Esch en Kruse (2020)). Grondwaterstroming wordt berekend onder de grondwaterspiegel in de verzadigde zone en boven de grondwaterspiegel in de onverzadigde zone. De grondwaterstroming in de bovenste grondlagen is voornamelijk het gevolg van neerslag en verdamping aan het maaiveld. De stroming door warmteverschillen, en dus dichtheidsverschillen, wordt eveneens berekend.

Transport van warmte vindt plaats door geleiding in de ondergrond en door meevoering met het grondwater. DgFlow berekent beide transportprocessen waarbij verandering van de thermische eigenschappen van de grond met variaties van het vochtgehalte eveneens worden berekend. Verzadigde grond heeft namelijk een hogere warmtecapaciteit dan minder verzadigde grond, datzelfde geldt voor de thermische geleidbaarheid.

De grootte van de effectieve neerslag en de verdamping wordt in het DgFlow model berekend op basis van KNMI gegevens. De effectieve neerslag verschilt van de gemeten neerslag als de gemeten neerslag groter is dan de neerslag die door de grond kan worden opgenomen. In dergelijke omstandigheden wordt infiltratie van neerslag beschreven met een waterfilm aan maaiveld die wordt gevormd door plassen aan het maaiveld representeert. De maximale verdamping wordt uitgerekend met de Penmann-Monteith vergelijking (Kroes en Van Dam (2017)). Het model vertaalt deze waarde naar een effectieve waarde op basis van een maximale zuigspanning waarbij verwelking van gewassen optreedt.

De temperatuur aan maaiveld volgt uit een energiebalansberekening waarbij evenwicht wordt gezocht tussen de latente warmteflux, de bodemwarmteflux, de waarneembare warmteflux en de stralingsflux. De latente warmteflux zorgt voor verdamping en wordt aangedreven door vochtgehalteverschillen in de bodem en de lucht. De bodemwarmteflux ontstaat door het verschil in oppervlaktetemperatuur, de natuurlijke temperatuur in ondergrond en de additionele warmte door de leidingen in de ondergrond. De waarneembare warmteflux wordt aangedreven door het verschil in bodemtemperatuur en atmosferische temperatuur. De stralingsflux tenslotte, is het gevolg van instraling door de zon en reflectie aan het maaiveld.

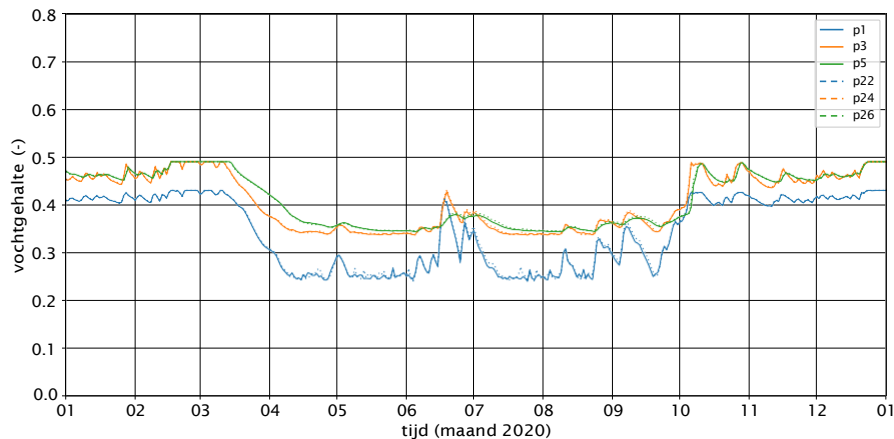
In bijlage D is het berekende stijghoogteverloop in de ondergrond voor een winter- en zomersituatie per profiel afgebeeld. Het vochtgehalte kan direct worden afgeleid uit de stijghoogte. Bijlage E geeft het temperatuurverloop in de ondergrond voor beide situaties. In bijlage F worden berekende vochtgehalten en temperaturen in de rekenpunten als maandgemiddelde waarden gepresenteerd. Deze tabellen kunnen gebruikt worden bij de beoordeling van effecten op gewassen door de aanleg van de warmteleidingen.

In dit hoofdstuk wordt het vochtgehalteverloop en de bodemtemperatuur voor een zes rekenpunten van tabel 3.5 gepresenteerd voor het jaar 2020. De rekenpunten p1 en p22 bevinden zich op een diepte van 10 cm beneden maaiveld, p3 en p24 liggen op een diepte van 30 cm en p5 en p26 liggen 50 cm beneden maaiveld. De punten p1, p3 en p5 bevinden zich direct boven de leiding, p22, p24 en p26 liggen naast de aanvoerleiding op een afstand van 5 m.

Ondergrondprofiel 1

In figuur 4.1 is het vochtgehalte in de gekozen rekenpunten afgebeeld. De bovenste punten (p1, p22) liggen in een leemlaag met een porositeit van 0,43 en de punten daaronder (p3, p5, p24, p26) liggen in een kleilaag met een porositeit van 0,49. Uit de figuur volgt dat de afname van het vochtgehalte door de warmteleidingen zeer beperkt is.

Maandgemiddelde waarden van het vochtgehalte voor de geselecteerde rekenpunten met en zonder warmteleiding zijn weergegeven in tabel 4.1 en tabel 4.2. Volgens de tabel is de afname van het vochtgehalte het grootst in juli en bedraagt 37% in de bovenste rekenpunten. Deze afname van is het gevolg van een grotere verdamping in de zomer dan in de winter.



Figuur 4.1 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1.

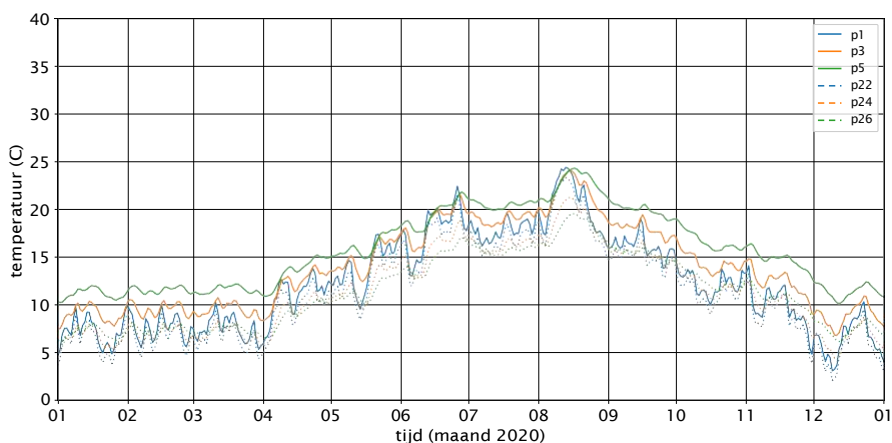
Tabel 4.1 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,26	0,27	0,31	0,41	0,41	0,42
p3	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,36	0,46	0,45	0,47
p5	0,46	0,48	0,47	0,38	0,35	0,36	0,36	0,35	0,36	0,45	0,46	0,47
p22	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,27	0,27	0,31	0,41	0,41	0,42
p24	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p26	0,46	0,48	0,47	0,37	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,45	0,46	0,47

Tabel 4.2 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,27	0,28	0,31	0,41	0,41	0,42
p3	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p5	0,46	0,48	0,47	0,38	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,45	0,46	0,47
p22	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,27	0,28	0,32	0,41	0,41	0,42
p24	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p26	0,46	0,48	0,47	0,37	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,45	0,46	0,47

Figuur 4.2 geeft het temperatuurverloop in de rekenpunten voor het jaar 2020 weer. De variatie van atmosferische condities in de tijd wordt het sterkst waargenomen in de rekenpunten die dicht bij het maaiveld liggen. De temperatuuroptimaal als gevolg van de leidingen is maximaal in augustus. Voor de punten p1, p3 en p5, die boven het hart van de aanvoerleiding liggen, bedraagt de toename 2°C op een diepte van 10 cm, 3°C op een diepte van 30 cm en 5°C op een diepte van 50 cm. Maandgemiddelde waarden van de temperatuur in de rekenpunten zijn opgenomen in tabel 4.3 en tabel 4.4. Op een afstand van 5 m naast de leidingen, is de invloed van de leidingen op de bodemtemperatuur te verwaarlozen.



Figuur 4.2 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1.

Tabel 4.3 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.

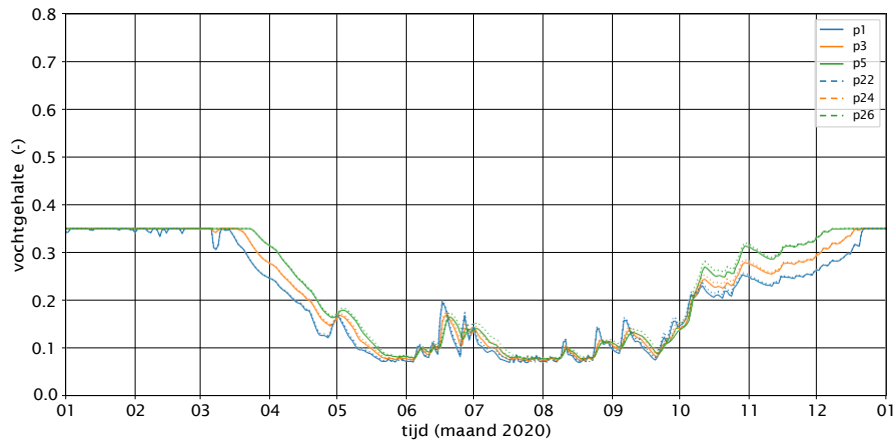
punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	8	11	14	18	18	21	16	12	10	7
p3	9	10	10	12	15	19	19	22	18	14	12	9
p5	11	12	12	14	16	20	21	23	20	17	15	11
p22	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p24	7	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	7
p26	7	8	7	9	11	15	16	18	15	13	11	8

Tabel 4.4 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	6
p3	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p5	7	7	7	9	11	15	15	18	15	12	11	7
p22	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	6
p24	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p26	7	7	7	9	11	15	15	18	15	12	11	7

Ondergrondprofiel 2

In de figuur 4.3 is het berekende vochtgehalteverloop voor de geselecteerde rekenpunten grafisch weergegeven. Alle rekenpunten liggen in een zandlaag met een porositeit van 0,35. Maandgemiddelde waarden van het vochtgehalte voor de geselecteerde punten met en zonder warmteleiding zijn opgenomen in tabel 4.5 en tabel 4.6. Volgens de tabellen is de afname van het vochtgehalte in alle punten (74%), de afname is het gevolg van atmosferische condities en het effect van de warmteleidingen is te verwaarlozen.



Figuur 4.3 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2.

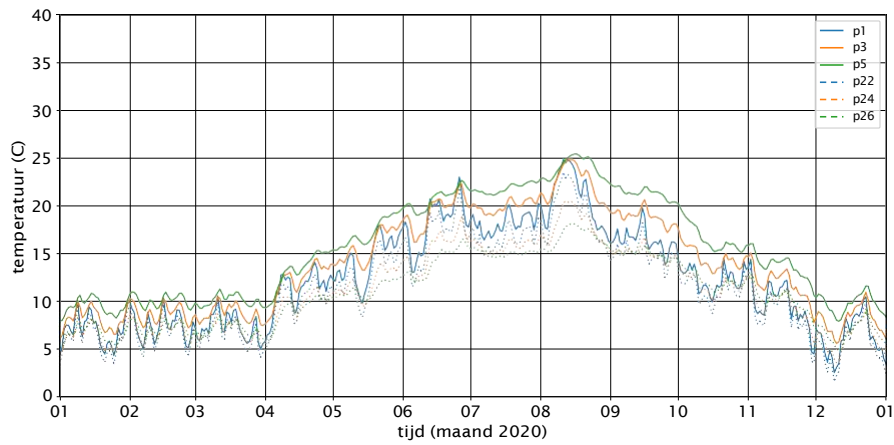
Tabel 4.5 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,35	0,35	0,31	0,18	0,10	0,11	0,09	0,09	0,11	0,21	0,24	0,31
p3	0,35	0,35	0,33	0,21	0,11	0,11	0,09	0,09	0,11	0,22	0,27	0,33
p5	0,35	0,35	0,35	0,24	0,12	0,12	0,10	0,09	0,11	0,24	0,31	0,35
p22	0,35	0,35	0,31	0,19	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,25	0,31
p24	0,35	0,35	0,33	0,21	0,11	0,12	0,10	0,09	0,12	0,23	0,27	0,33
p26	0,35	0,35	0,35	0,24	0,13	0,12	0,11	0,09	0,12	0,25	0,31	0,35

Tabel 4.6 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,35	0,35	0,32	0,19	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,25	0,31
p3	0,35	0,35	0,33	0,21	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12	0,23	0,28	0,34
p5	0,35	0,35	0,35	0,24	0,13	0,12	0,11	0,09	0,12	0,25	0,31	0,35
p22	0,35	0,35	0,32	0,19	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,25	0,31
p24	0,35	0,35	0,33	0,21	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12	0,23	0,28	0,34
p26	0,35	0,35	0,35	0,24	0,13	0,12	0,11	0,09	0,12	0,25	0,31	0,35

Figuur 4.4 geeft het berekende temperatuurverloop voor het tweede ondergrondprofiel. Maandgemiddelde waarden van de temperatuur in de rekenpunten zijn opgenomen in tabel 4.7 en tabel 4.8. De temperatuuroename in punt p1 is 2°C. De temperatuurverhoging neemt toe in de punten daaronder, die dichterbij de leiding liggen, en bedraagt respectievelijk 4°C en 8°C. De punten liggen boven het hart van de aanvoerleiding op een diepte van 10, 30 en 50 cm beneden maaiveld.



Figuur 4.4 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2.

Tabel 4.7 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.

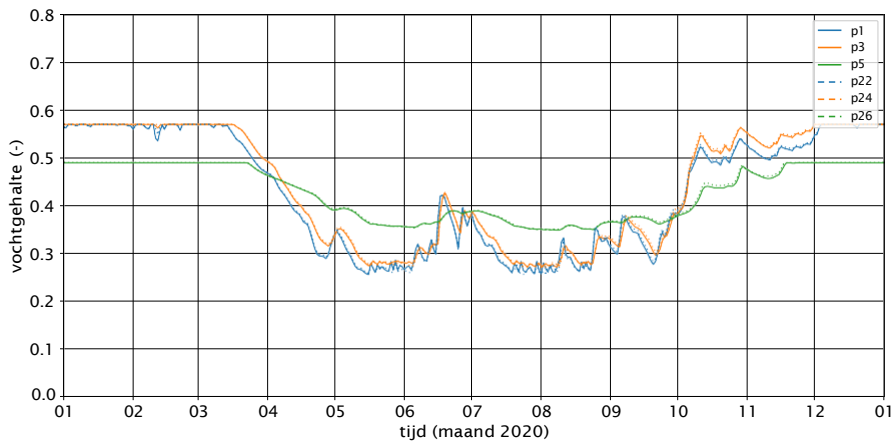
punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	7	7	11	14	18	18	21	16	12	10	6
p3	8	9	9	12	16	19	20	22	19	15	12	8
p5	9	10	10	13	17	21	22	24	21	17	14	10
p22	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	5
p24	6	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	6
p26	7	7	7	9	11	14	15	17	15	12	10	7

Tabel 4.8 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	5
p3	6	7	7	9	12	15	16	18	15	12	9	6
p5	6	7	7	9	11	14	15	16	14	12	10	7
p22	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	5
p24	6	7	7	9	12	15	15	18	15	12	9	6
p26	6	7	7	9	11	14	15	16	15	12	10	7

Ondergrondprofiel 3

De geselecteerde rekenpunten op een diepte van 10 cm en 30 cm liggen in een veenlaag en de punten daaronder liggen in een kleilaag. De porositeit van deze lagen is 0,57 en 0,49. De ontwikkeling van het vochtgehalte is afgebeeld in figuur 4.5. De afname van het vochtgehalte is het grootst in de bovenste punten in juli en augustus (48%). De grond rond de onderste rekenpunten raakt eerder verzadigd na de zomer dan de grond daarboven. Dit is het gevolg van opwaartse kwel die veroorzaakt wordt door de hogere stijghoogte in de dieper gelegen zandlagen. Maandgemiddelde waarden van het vochtgehalte voor de geselecteerde rekenpunten met en zonder warmteleiding zijn weergegeven in tabel 4.9 en tabel 4.10. Uit deze gegevens volgt dat de invloed van de warmteleiding op het vochtgehalte te verwaarlozen is.



Figuur 4.5 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3.

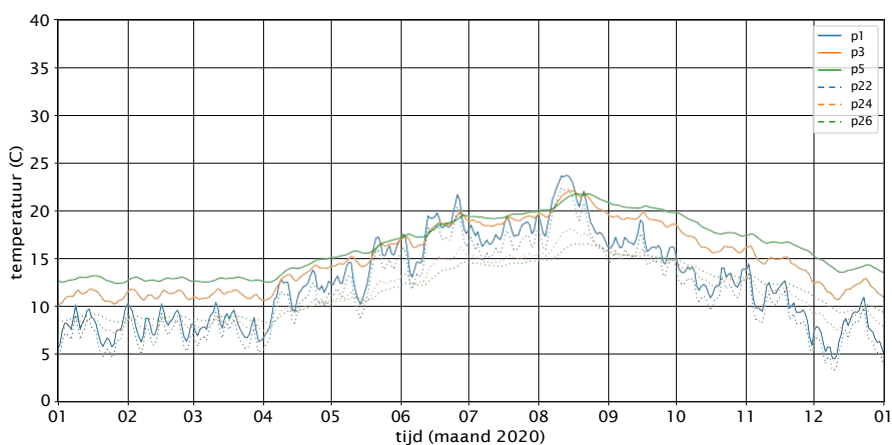
Tabel 4.9 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,57	0,54	0,37	0,28	0,33	0,29	0,29	0,33	0,49	0,52	0,57
p3	0,57	0,57	0,55	0,40	0,30	0,34	0,31	0,30	0,34	0,51	0,54	0,57
p5	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,43	0,48	0,49
p22	0,57	0,57	0,54	0,38	0,28	0,33	0,29	0,29	0,34	0,49	0,52	0,57
p24	0,57	0,57	0,55	0,40	0,30	0,34	0,31	0,29	0,35	0,51	0,54	0,57
p26	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,43	0,48	0,49

Tabel 4.10 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,52	0,54	0,38	0,29	0,34	0,30	0,29	0,34	0,49	0,52	0,57
p3	0,57	0,53	0,55	0,40	0,30	0,34	0,32	0,30	0,35	0,51	0,55	0,57
p5	0,49	0,46	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,36	0,37	0,43	0,48	0,49
p22	0,57	0,55	0,54	0,38	0,28	0,34	0,30	0,29	0,34	0,49	0,52	0,57
p24	0,57	0,56	0,55	0,40	0,30	0,34	0,32	0,29	0,34	0,51	0,55	0,57
p26	0,49	0,48	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,43	0,48	0,49

Voor de gekozen rekenpunten is het temperatuurverloop in de tijd weergegeven in figuur 4.6. De temperatuuroptocht in het punt p1, direct boven de leiding op een diepte van 10 cm, is in augustus als gevolg van de leidingen (1°C). Daaronder neemt de temperatuurverhoging toe 5° (p3) en 6° (p5). Uit bijlage F volgt dat de toename op een afstand van 5 m naast de leiding te verwaarlozen is. Op die afstand is de verhoging maximaal 1°. Maandgemiddelde waarden van de temperatuur in de punten zijn opgenomen in tabel 4.11 en tabel 4.12.



Figuur 4.6 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3.

Tabel 4.11 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.

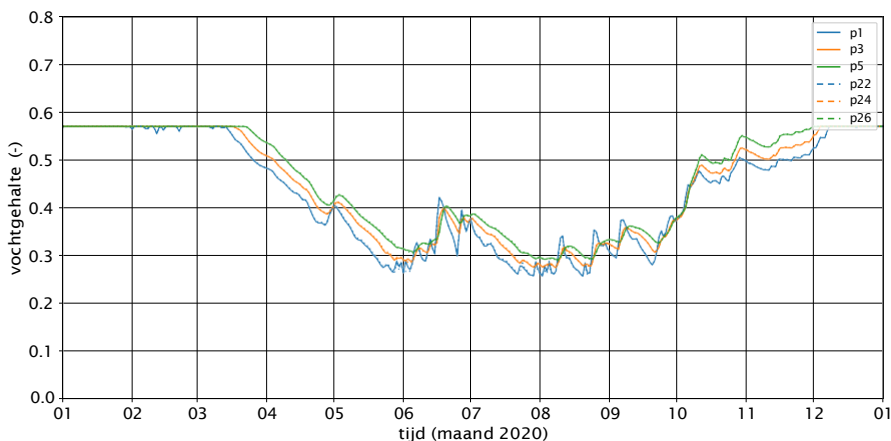
punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	8	8	8	11	14	18	18	20	16	13	11	7
p3	11	11	11	13	15	18	19	21	19	16	15	12
p5	13	13	13	14	16	18	19	21	20	18	17	14
p22	7	7	7	10	13	16	16	19	15	12	9	6
p24	8	8	8	10	11	14	15	17	15	13	11	9
p26	9	9	9	9	11	13	14	16	15	14	12	10

Tabel 4.12 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p3	7	8	8	9	11	13	14	16	14	12	11	8
p5	8	8	8	9	10	12	13	15	14	12	11	9
p22	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p24	7	8	8	9	11	13	14	16	14	12	11	8
p26	8	8	8	9	10	12	13	15	14	12	11	9

Ondergrondprofiel 4

In figuur 4.7 is het vochtgehalte in de rekenpunten van het vierde profiel weergegeven. De geselecteerde rekenpunten liggen in een veenlaag met een porositeit van 0,57. De berekeningen laten zien dat de verzadiging van de grond met water rond de bovenste punten eerder afneemt in het voorjaar door verdamping aan het maaiveld. Uit de figuur volgt dat de afname van het vochtgehalte door de warmteleidingen ook in dit profiel te verwaarlozen is. Maandgemiddelde waarden van het vochtgehalte voor de geselecteerde rekenpunten met en zonder warmteleiding zijn weergegeven in tabel 4.13 en tabel 4.14. Volgens de tabel is de afname van het vochtgehalte het grootst in augustus en bedraagt 49% in de bovenste rekenpunten.



Figuur 4.7 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4.

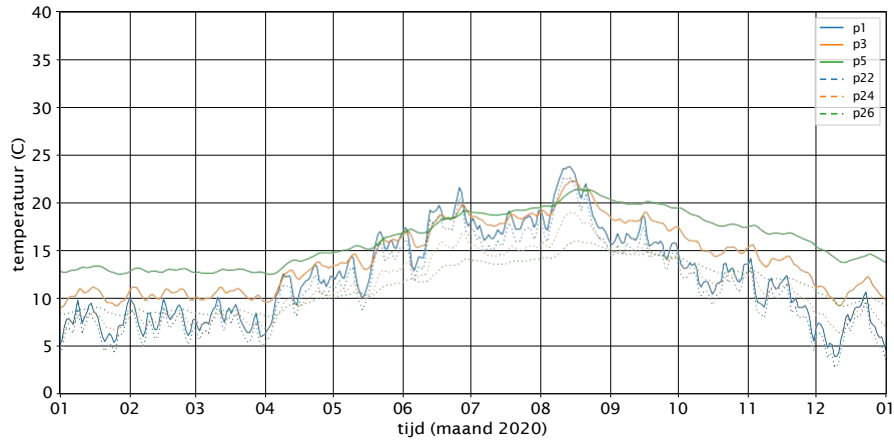
Tabel 4.13 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p3	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,34	0,32	0,30	0,34	0,47	0,52	0,57
p5	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,31	0,35	0,48	0,55	0,57
p22	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p24	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,34	0,32	0,29	0,34	0,47	0,52	0,57
p26	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,30	0,34	0,48	0,55	0,57

Tabel 4.14 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,57	0,54	0,42	0,33	0,34	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p3	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,34	0,32	0,29	0,34	0,47	0,52	0,57
p5	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,30	0,35	0,48	0,55	0,57
p22	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,34	0,46	0,50	0,56
p24	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,34	0,32	0,29	0,34	0,47	0,52	0,57
p26	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,30	0,35	0,49	0,55	0,57

Figuur 4.8 geeft het temperatuurverloop in de rekenpunten voor het jaar 2020. De variatie van atmosferische condities in de tijd wordt het sterkst waargenomen in de rekenpunten die dicht bij het maaiveld liggen. Dat zijn de punten p1 en p22 op een diepte van mv -0,10 m. De temperatuurtoename op deze diepte is in augustus 1°C. Op een diepte van 30 cm wordt een temperatuurverhoging van 3°C berekend en 50 cm beneden maaiveld is de toename 7°C. Maandgemiddelde waarden van de temperatuur in de rekenpunten zijn opgenomen in tabel 4.15 en tabel 4.16.



Figuur 4.8 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4.

Tabel 4.15 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.

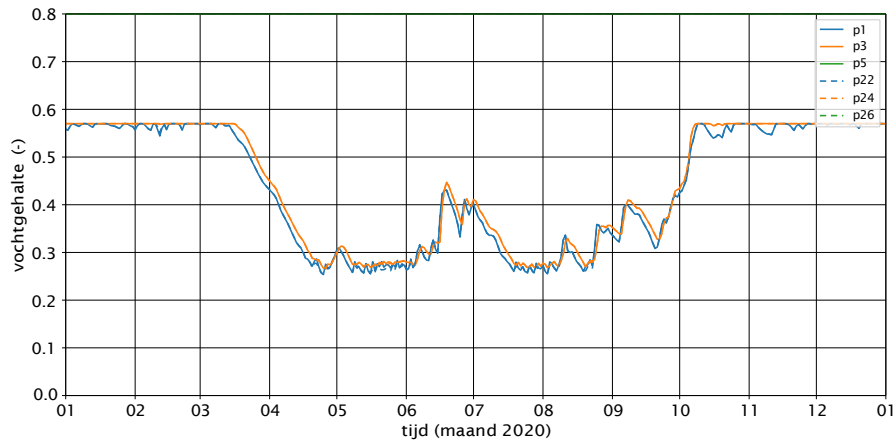
punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	8	11	14	18	18	20	16	13	10	7
p3	10	10	10	12	15	18	18	20	18	15	14	11
p5	13	13	13	14	16	18	19	21	20	18	17	14
p22	6	7	7	10	13	16	16	19	15	12	9	6
p24	7	8	8	9	11	14	15	17	15	12	11	8
p26	9	9	9	9	11	13	14	15	15	13	12	10

Tabel 4.16 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p3	7	8	7	9	11	14	15	17	14	12	10	7
p5	8	8	8	9	10	12	13	14	14	12	11	9
p22	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p24	7	8	7	9	11	14	15	17	14	12	10	7
p26	8	8	8	9	10	12	13	14	14	12	11	9

Ondergrondprofiel 5

In de figuur 4.9 is het berekende vochtgehalteverloop voor de rekenpunten in het vijfde profiel weergegeven. De punten liggen in een veenlaag. De porositeit van de toplaag is 0,59, daaronder heeft het veen een porositeit van 0,8. Maandgemiddelde waarden van het vochtgehalte voor de geselecteerde punten met en zonder warmteleiding zijn opgenomen in tabel 4.17 en tabel 4.18. De afname van het vochtgehalte als gevolg van verdamping in de zomer is maximaal 47%.



Figuur 4.9 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5.

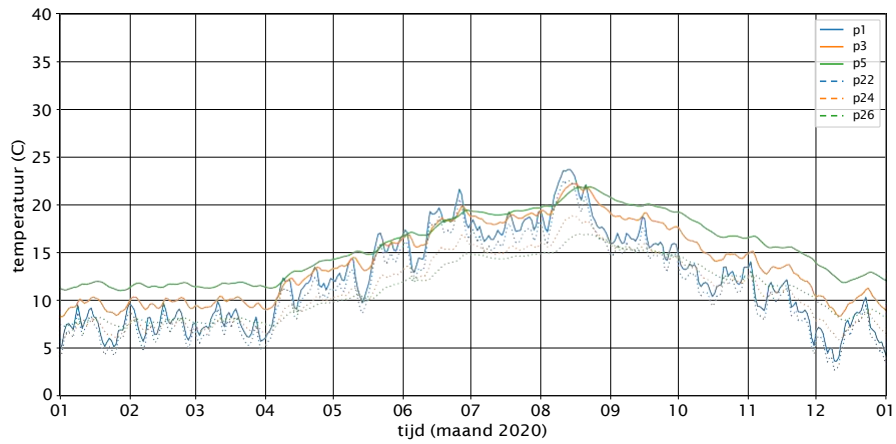
Tabel 4.17 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,36	0,54	0,56	0,57
p3	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p22	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,36	0,54	0,56	0,57
p24	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p26	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Tabel 4.18 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,56	0,53	0,32	0,28	0,34	0,30	0,30	0,37	0,54	0,56	0,57
p3	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,38	0,55	0,57	0,57
p5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p22	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,37	0,54	0,56	0,57
p24	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,38	0,55	0,57	0,57
p26	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Figuur 4.10 geeft het berekende temperatuurverloop voor het vijfde ondergrondprofiel. Maandgemiddelde waarden van de temperatuur in de rekenpunten zijn opgenomen in tabel 4.19 en tabel 4.20. De temperatuurtoename in augustus op een diepte van 10 cm, 30 cm en 50 cm beneden maaiveld bedraagt volgens deze tabel achtereenvolgens 1°C, 4°C en 5°C.



Figuur 4.10 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5.

Tabel 4.19 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	8	11	14	18	18	20	16	13	10	7
p3	9	10	10	12	14	18	19	21	18	15	13	10
p5	11	12	12	13	15	18	19	21	20	17	16	13
p22	6	7	7	10	13	16	16	19	15	12	9	6
p24	7	7	7	9	11	14	15	17	15	13	11	7
p26	8	8	8	9	11	13	15	16	15	13	12	9

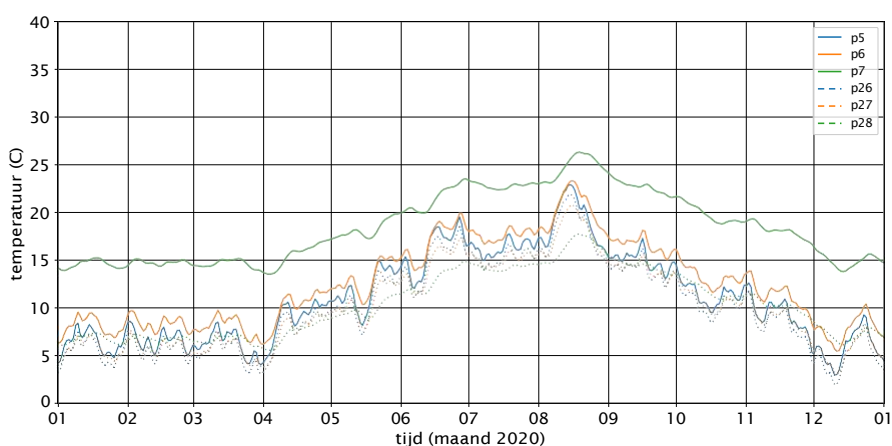
Tabel 4.20 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p3	7	7	7	9	11	14	15	17	15	12	10	7
p5	7	8	8	8	10	13	14	16	15	13	11	8
p22	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p24	7	7	7	9	11	14	15	17	15	12	10	7
p26	7	8	8	8	10	13	14	16	15	13	11	8

Ondergrondprofiel 6

Profiel 6 is gekozen onder een waterpartij, de grond in het profiel blijft zodoende verzadigd en vochtgehalten worden voor dit profiel daarom niet gepresenteerd. De waterdiepte is 75 cm en de rekenpunten p1, p3 en p5 die in de voorgaande beschouwing van de resultaten zijn geselecteerd liggen in de watergang. Voor profiel 6 wordt daarom voor de punten p5, p6 en p7 gekozen die respectievelijk 40, 45 en 50 cm lager liggen. De punten p5 en p26 bevinden zich in het water 20 cm boven de slootbodembodem. De punten p6 en p27 bevinden zich 5 cm onder de bodem, p7 en p28 liggen op een diepte van 30 cm onder de bodem.

Voor de geselecteerde rekenpunten is het verloop van de watertemperatuur in de tijd grafisch weergegeven in figuur 4.11 en getalsmatig samengevat in tabel 4.21 en tabel 4.22. De punten p5, p6 en p7 liggen direct boven de leiding en de punten p26, p27 en p28 liggen op een afstand van 5 meter naast de leiding. De temperatuurtoename in augustus op een diepte van 20 cm boven, 5 cm beneden en 30 cm beneden de bodem direct boven de leiding bedraagt volgens deze tabel achtereenvolgens 1°C, 2°C en 9°C. De berekende temperatuurtoename is groter dan de toename in de voorgaande gevallen omdat de rekenpunten dichter bij de leiding liggen.



Figuur 4.11 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 6, gemengd oppervlaktewater.

Tabel 4.21 Temperatuurverloop profiel 6, gemengd oppervlaktewater met leidingen.

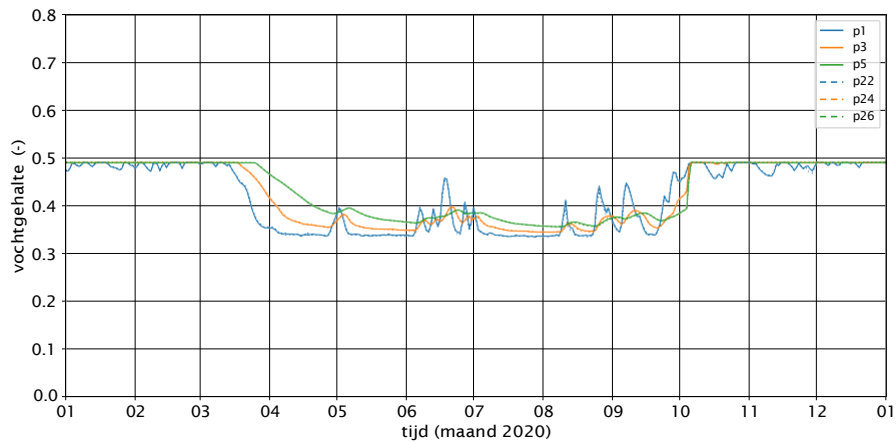
punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p5	6	7	6	9	12	16	16	19	15	12	9	6
p6	8	8	8	10	13	17	18	20	17	13	11	8
p7	15	15	15	16	18	21	23	25	23	20	18	15
p26	5	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p27	6	6	6	8	11	15	15	18	14	11	9	6
p28	7	7	7	7	10	13	14	16	14	12	10	7

Tabel 4.22 Temperatuurverloop profiel 6, gemengd oppervlaktewater zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p5	5	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p6	6	6	6	8	11	14	15	18	14	11	9	5
p7	6	7	6	7	10	13	14	16	14	12	10	7
p26	5	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p27	6	6	6	8	11	14	15	18	14	11	9	5
p28	6	7	6	7	10	13	14	16	14	12	10	7

Ondergrondprofiel 7

De geselecteerde rekenpunten in het zevende profiel liggen in een kleilaag met een porositeit van 0,49. De ontwikkeling van het vochtgehalte voor deze punten is afgebeeld in figuur 4.12. De afname van het vochtgehalte is maximaal in de bovenste punten maar wordt gecompenseerd door neerslag zodat de maandgemiddelde waarde in augustus iets hoger is dan in het punt eronder. Tabel 4.23 en tabel 4.24 bevatten de maandgemiddelde waarden de geselecteerde. De waarden voor de overige punten zijn opgenomen in bijlage F. Uit deze gegevens volgt dat de invloed van de warmteleiding op het vochtgehalte te verwaarlozen is.



Figuur 4.12 vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7.

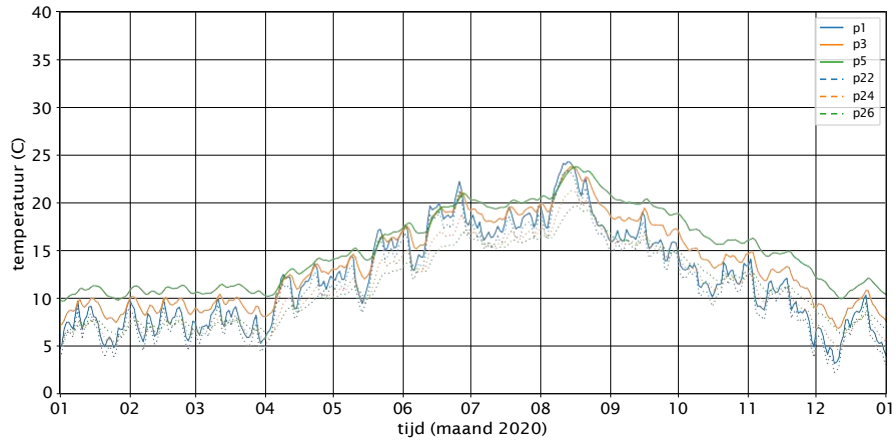
Tabel 4.23 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,48	0,49	0,45	0,34	0,34	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p3	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p5	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p22	0,48	0,49	0,45	0,34	0,34	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p24	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p26	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49

Tabel 4.24 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,48	0,49	0,45	0,34	0,35	0,38	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p3	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p5	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p22	0,48	0,49	0,45	0,34	0,35	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p24	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p26	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49

Voor de geselecteerde rekenpunten is het verloop van de bodemtemperatuur in de tijd grafisch weergegeven in figuur 4.13 en getalsmatig weergegeven in tabel 4.25 en tabel 4.26. De temperatuurtoename in augustus op een diepte van 10 cm, 30 cm en 50 cm beneden maaiveld direct boven de leiding bedraagt volgens deze tabel achtereenvolgens 1°C, 2°C en 4°C.



Figuur 4.13 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7.

Tabel 4.25 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.

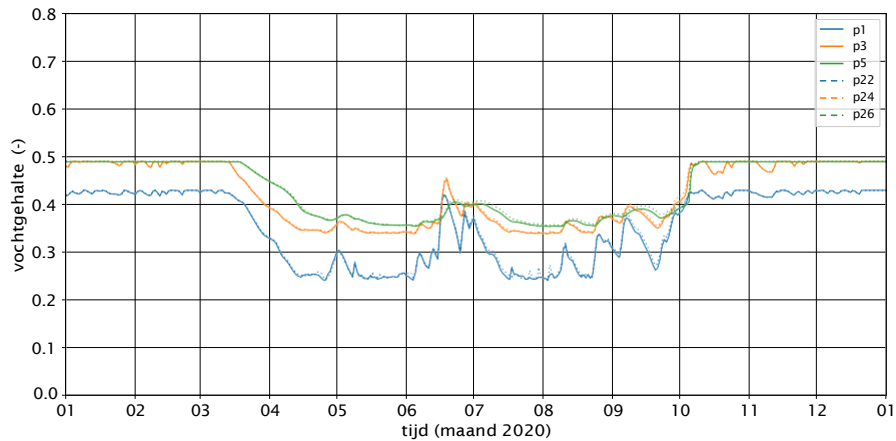
punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	7	11	14	18	18	21	16	12	10	6
p3	9	9	9	12	14	18	19	21	18	14	12	9
p5	10	11	11	13	15	19	20	22	20	17	15	11
p22	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p24	6	7	7	9	12	16	16	19	16	12	10	7
p26	7	7	7	9	11	15	16	18	16	13	11	8

Tabel 4.26 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p3	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p5	7	7	7	9	11	14	16	18	16	13	11	7
p22	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p24	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p26	7	7	7	9	11	14	16	18	16	13	11	7

Ondergrondprofiel 8

In de figuur 4.14 is het berekende vochtgehalteverloop voor het laatste profiel weergegeven. De bovenste rekenpunten (p1 en p22) liggen in een leemlaag en de punten daaronder liggen in een kleilaag. De porositeit van deze lagen is achtereenvolgens 0,43 en 0,49. Volgens de figuur is de afname van het vochtgehalte in juli en augustus het grootst, in de bovenste rekenpunten is de afname als gevolg van atmosferische condities 35%. Maandgemiddelde waarden van het vochtgehalte voor de geselecteerde punten met en zonder warmteleiding zijn opgenomen in tabel 4.27 en tabel 4.28.



Figuur 4.14 vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8.

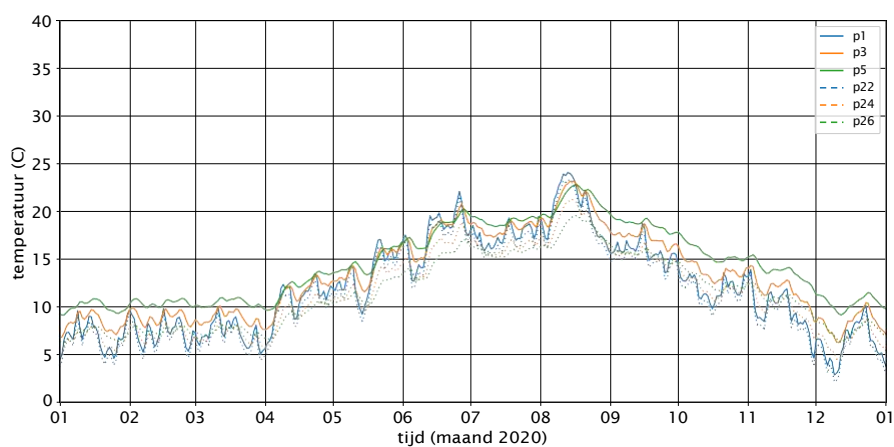
Tabel 4.27 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p3	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,47	0,48	0,49
p5	0,49	0,49	0,48	0,40	0,36	0,38	0,38	0,36	0,38	0,47	0,49	0,49
p22	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p24	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p26	0,49	0,49	0,48	0,40	0,37	0,38	0,38	0,36	0,39	0,48	0,49	0,49

Tabel 4.28 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p3	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p5	0,49	0,49	0,48	0,40	0,37	0,38	0,38	0,36	0,39	0,48	0,49	0,49
p22	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p24	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p26	0,49	0,49	0,48	0,40	0,36	0,38	0,38	0,36	0,39	0,48	0,49	0,49

Figuur 4.15 geeft het berekende temperatuurverloop voor het laatste ondergrondprofiel. De temperatuuroptename op een diepte van 10 cm beneden maaiveld als gevolg van de leidingen is 1°C in augustus. Op een diepte van 30 cm is de temperatuurverhoging 2°C en op een diepte van 50 cm is de verhoging 3°C. Maandgemiddelde waarden van de temperatuur in de rekenpunten zijn opgenomen in tabel 4.29 en tabel 4.30.



Figuur 4.15 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8.

Tabel 4.29 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	7	7	11	14	18	18	20	16	12	10	6
p3	8	9	9	11	14	18	18	21	17	14	12	8
p5	10	10	10	12	15	18	19	21	19	16	14	11
p22	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p24	7	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	7
p26	7	8	8	9	12	15	16	18	16	13	11	8

Tabel 4.30 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8 zonder leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	6
p3	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p5	7	7	7	9	11	14	15	18	15	12	11	7
p22	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	6
p24	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p26	7	7	7	9	11	14	15	18	15	12	11	7

5 Conclusies

In dit onderzoek is de toename van de temperatuur in de ondergrond en afname van het bodemvochtgehalte als gevolg van de voorgenomen aanleg van WarmtelinQ Rijswijk - Leiden met modelberekeningen vastgesteld. Deze veranderingen in bodemcondities worden in een vervolgonderzoek vertaald naar gewasopbrengsten met en zonder warmtetransportleidingen. Het vervolgonderzoek wordt uitgevoerd door Wageningen University & Research (WUR).

In totaal zijn acht locaties langs het leidingtracé onderzocht met een wisselende bodemopbouw en variërende geo-hydrologische condities. Vier locaties bevinden zich in agrarisch gebied, in één liggen de leidingen onder een watergang, twee hebben een grasbedekking en in één liggen de leidingen onder bestrating. De uitkomsten van de berekeningen zijn grafisch weergegeven in een verticale snede rond de leidingen voor een representatieve winter en een zomersituatie. Daarvoor is het jaar 2020 gekozen dat een warm en droog jaar was. Voor de beoordeling van mogelijke invloeden van de leidingen op de omgeving zijn de resultaten in tabellen met maandgemiddelde waarden van de bodemtemperatuur en het vochtgehalte gepresenteerd.

Het vochtgehalte in de bovenste grondlagen volgt uit het product van de verzadigingsgraad en de porositeit. In het profiel met de watergang blijft de ondergrond volledig verzadigd. In de overige profielen neemt het vochtgehalte in de bovenste laag met maximaal 35% tot 74% af in de zomer. In alle gevallen is de afname van het vochtgehalte het gevolg een toegenomen verdamping in de zomer. Het effect van de warmteleiding op het vochtgehalte is verwaarloosbaar.

De toename van de bodemtemperatuur door de warmteleidingen in het profiel met de watergang en bedraagt 9°C op een diepte van 30 cm beneden de slootbodem, direct boven de aanvoerleiding. De uitwisseling van warmte tussen boven- en ondergrond vindt hier plaats aan het wateroppervlak, 75 cm boven de slootbodem. Bij de berekening is aangenomen dat het water in de sloot stroomt, het water goed gemengd is, maar dat er geen water met een lagere temperatuur aangevoerd wordt.

In de overige profielen vindt de uitwisseling van warmte tussen boven- en ondergrond plaats aan het maaiveld. Direct boven de leiding is de maximale temperatuursverhoging 8°C en op een diepte van 50 cm, 5°C en op een diepte van 30 cm en 2°C op een diepte van 10 cm. Vijf meter naast de leiding blijft de temperatuuroptoeiname op dezelfde dieptes beperkt tot maximaal 1°C.

6 Aanbevelingen

Bij de berekeningen is gebruik van standaard eigenschappen van de ondergrond. Bij voorkeur zouden de thermische eigenschappen van de ondergrond (geleidbaarheid en warmtecapaciteit) langs het tracé van de warmteleidingen in het geo-technisch laboratorium moeten worden bepaald bij verschillende vochtgehaltes en zouden pf-curves moeten worden gemaakt (verzadigingsgraad – zuigspanning – doorlatendheid relatie). Ook zou het meten van de bodemtemperatuur en het vochtgehalte voorafgaand aan de aanleg van de warmteleidingen nuttig zijn. De initiële condities kunnen dan beter worden vastgesteld.

Literatuur

“Daggegevens van het weer in Nederland.”

<http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>. Accessed: 06-01-2021.

Kroes, J. en J. Van Dam, 2017. *SWAP version 4, Theory description and user manual*. Wageningen University and Research.

TNO, 2020a. “dinoloket, ondergrondgegevens, <https://www.dinoloket.nl//ondergrondgegevens>.”

TNO, 2020b. “Landelijk hydrologisch model LHN, <https://www.grondwatertools.nl//gwsinbeeld>.”

Van Esch, J. en H. Kruse, 2020. “Thermal effects of heat supply pipelines on their surroundings; model development and validation.” *Deltares report 11205411-001-GEO-001* .

Van Esch, J., J. Wesseling en H. Kruse, 2021. “Warmteoverdracht agrarische percelen; warmteleidingen Vlaardingen Den Haag.” *Deltares report 11208647-002-GEO-00014* .

Van Meer, M., 2023. “Inploegrapport; oprijf- en opbarstrisico bij inploegen in verschillende scenario’s, project Lot C Rijswijk-Leiden.” *Antea Group rapport 0470288.100* .

Wesseling, J. en A. Heidema, 2023. “De bodems die de warmteleiding doorkruist tussen Rijswijk en Leiden.” *Wageningen Environmental Software Rapprt xx* .

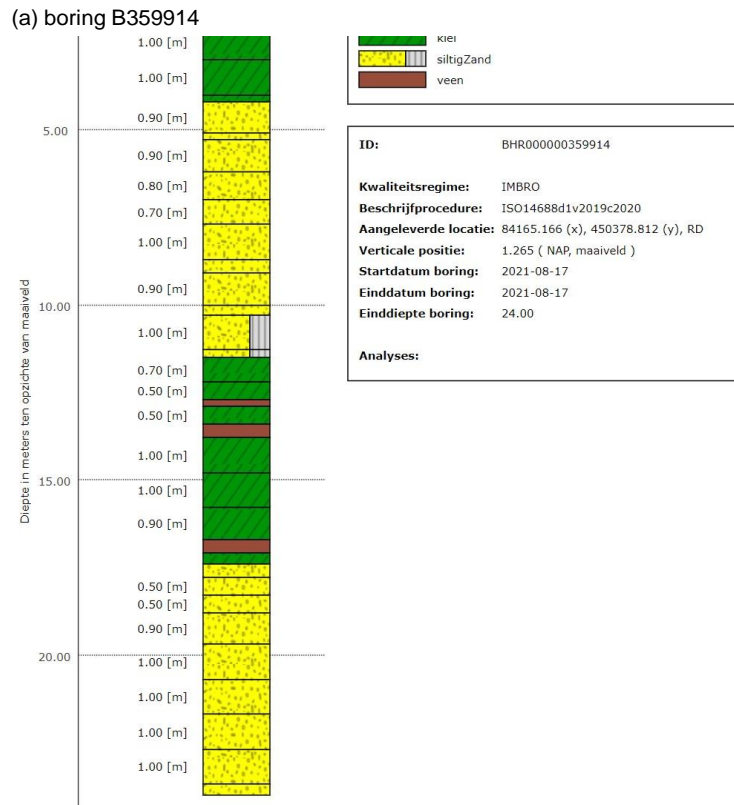
Wösten, J., G. Veerman, W. De Groot en J. Stolte, 2001. “Water retention and hydraulic conductivity functions of top- and subsoilin the Netherlands: The Staring Series.” *Alterra report 153* .

A Bodemkaart



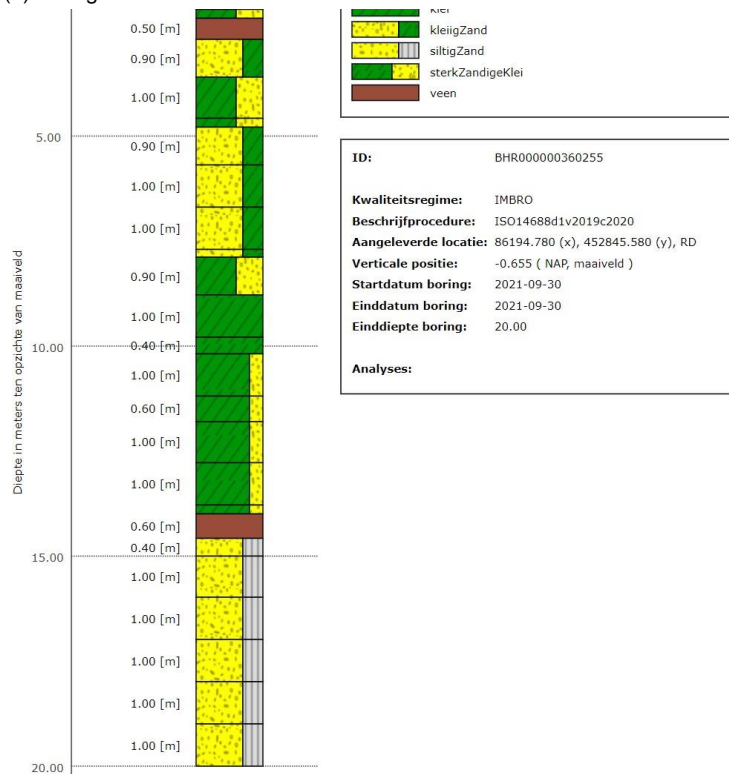
Figuur A.1 Bodemkaart.

B Bodembeschrijvingen



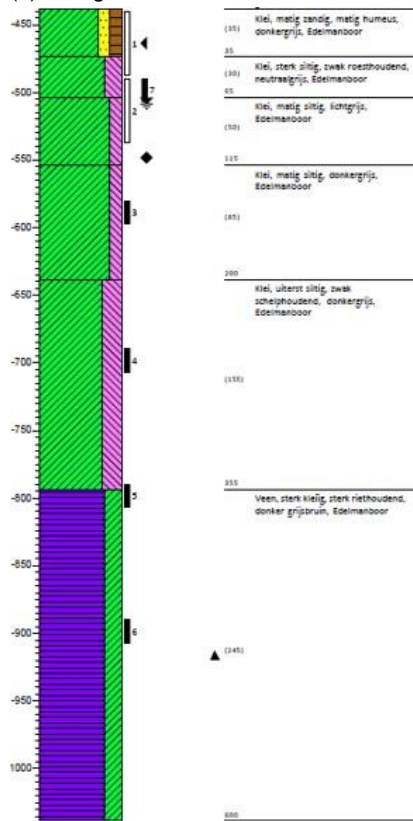
Figuur B.1 Boorbeschrijving profiel 1.

(a) boring B360255



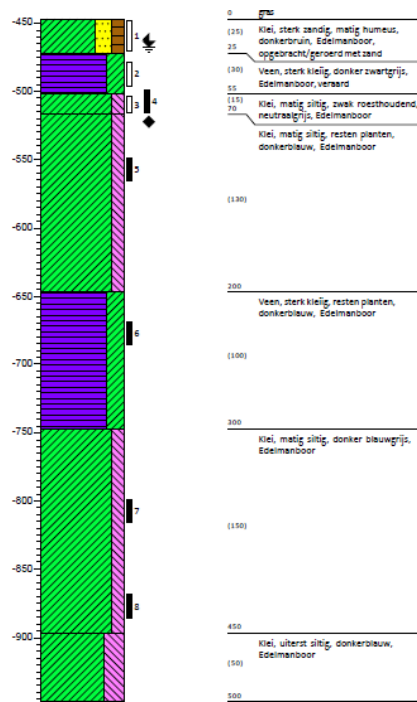
Figuur B.2 Boorbeschrijving profiel 2.

(a) boring B4001



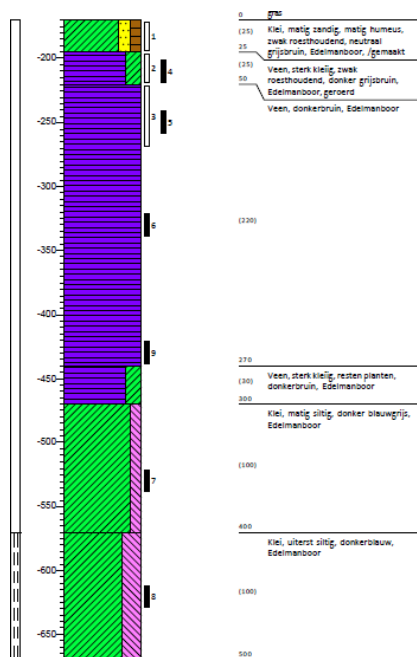
Figuur B.3 Boorbeschrijving profiel 3.

(a) boring B5204



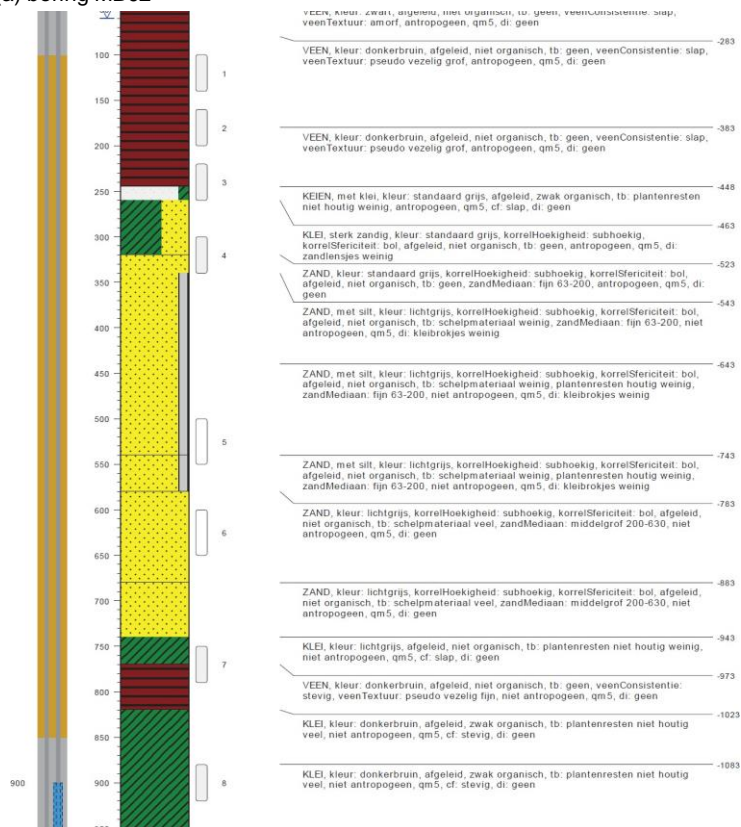
Figuur B.4 Boorbeschrijving profiel 4.

(a) boring B5705



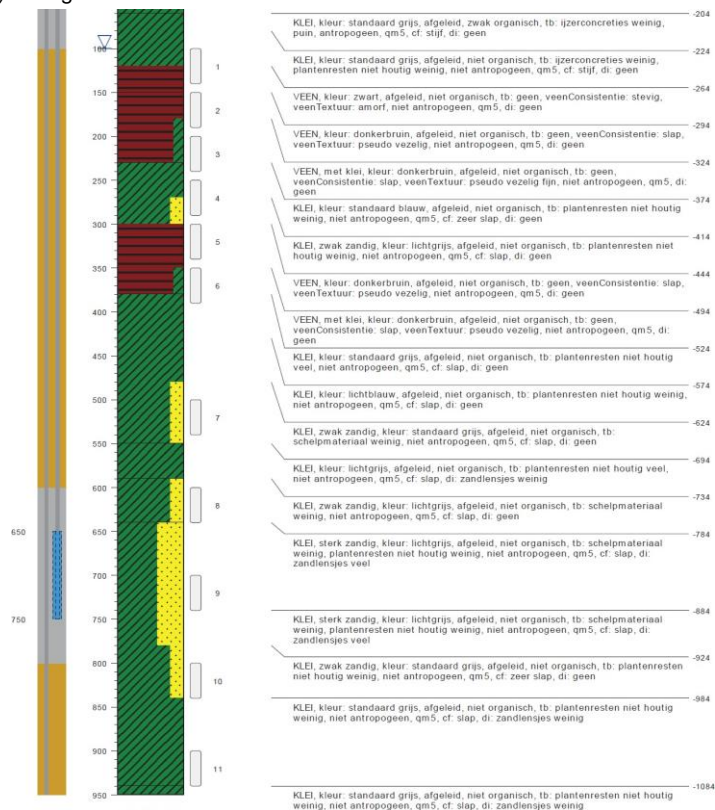
Figuur B.5 Boorbeschrijving profiel 5.

(a) boring MB02



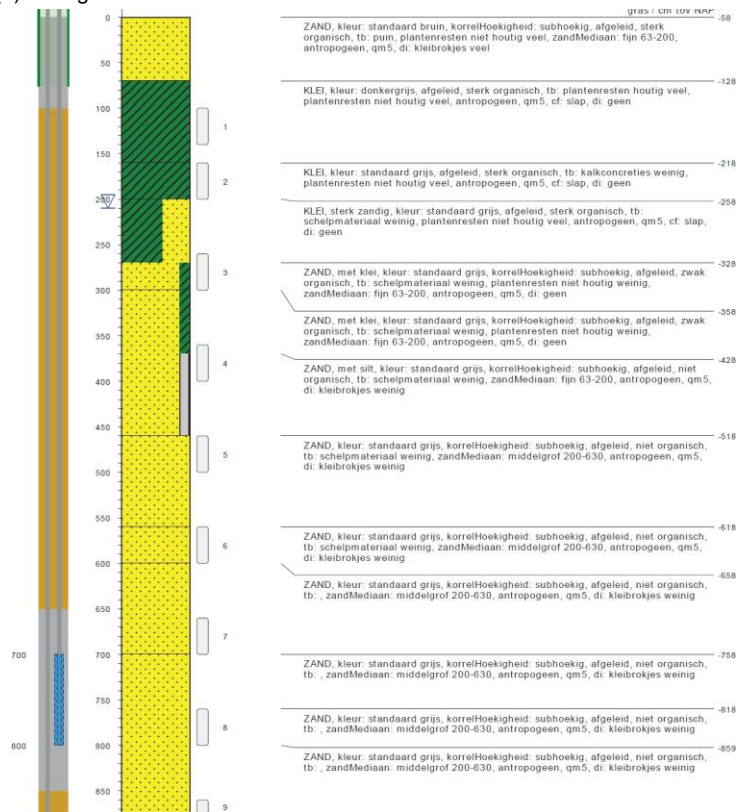
Figuur B.6 Boorbeschrijving profiel 6.

(a) boring MB03



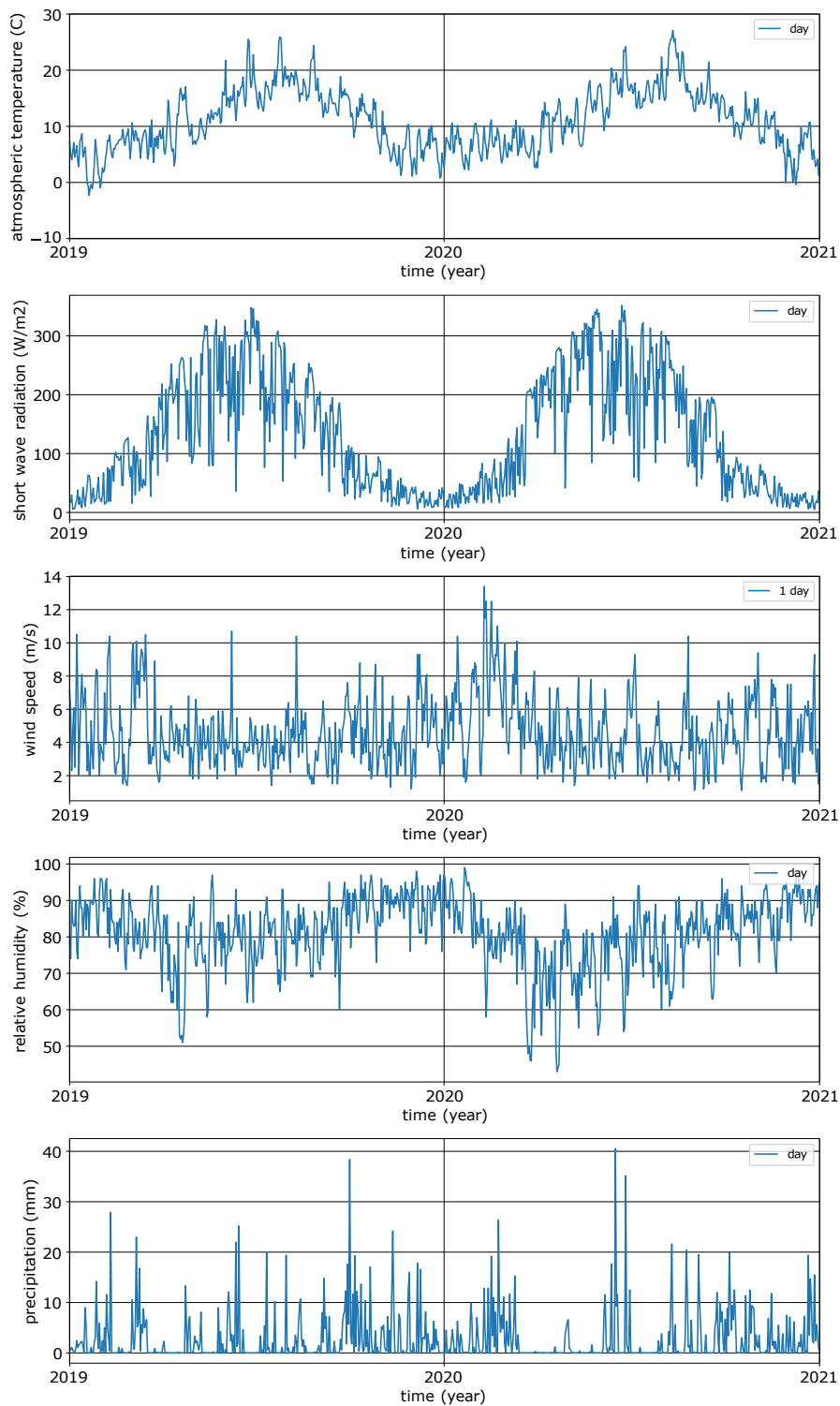
Figuur B.7 Boorbeschrijving profiel 7.

(a) boring MB09



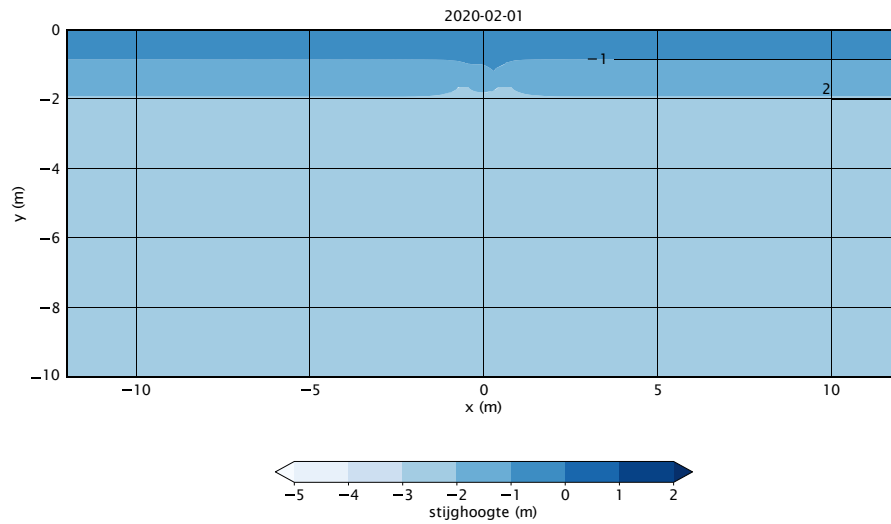
Figuur B.8 Boorbeschrijving profiel 8.

C Atmosferische condities

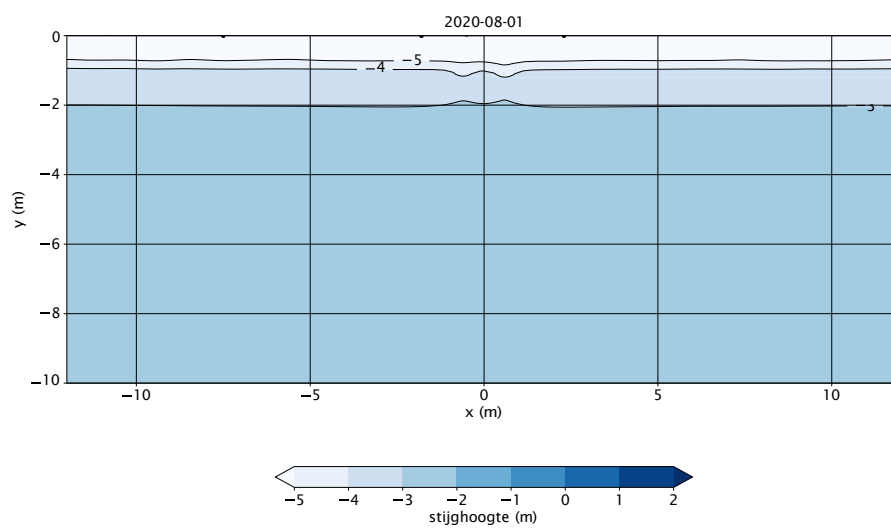


Figuur C.1 KNMI metingen weerstation Voorschoten.

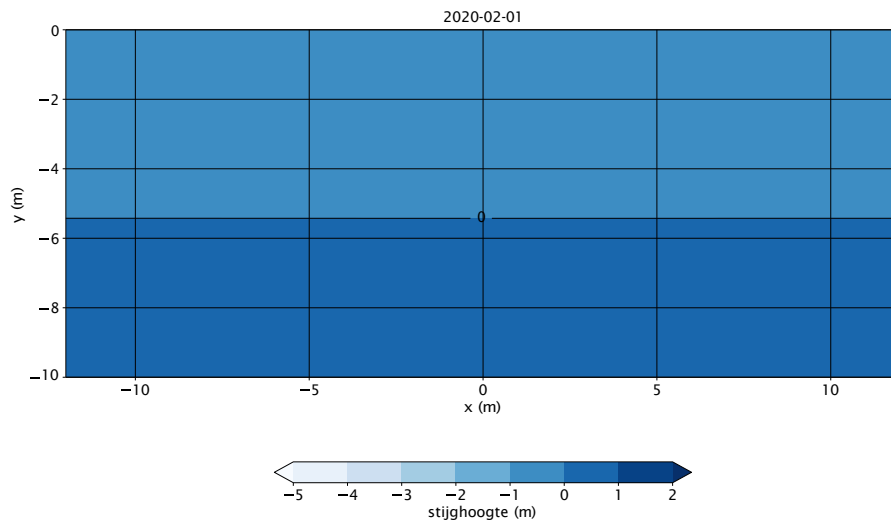
D Stijghoogteverloop ondergrond



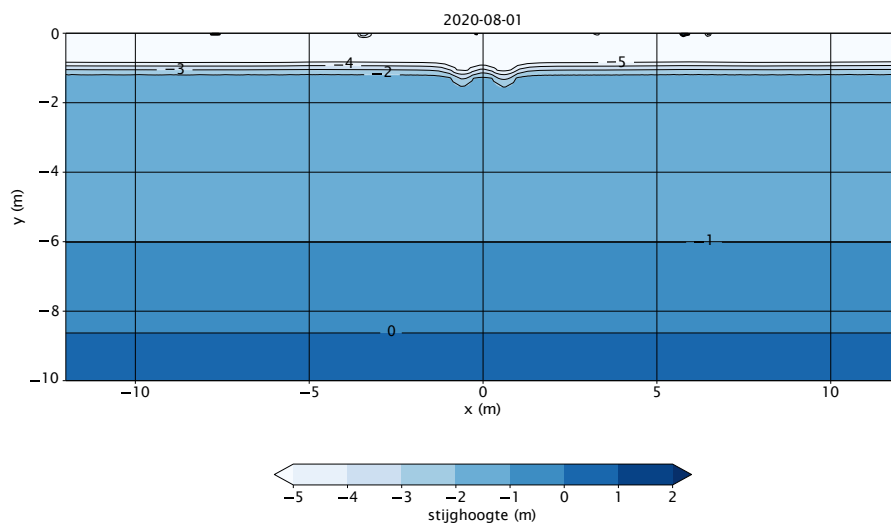
Figuur D.1 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 1, 1 februari 2020.



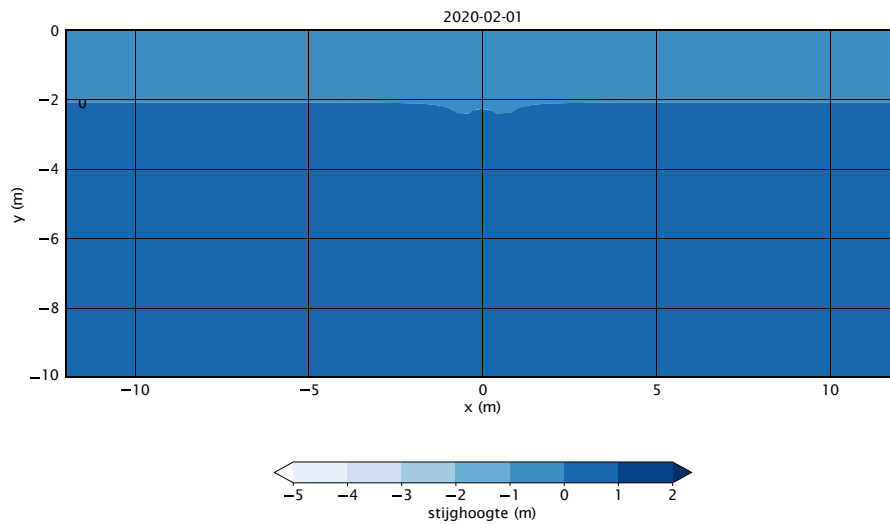
Figuur D.2 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 1, 1 augustus 2020.



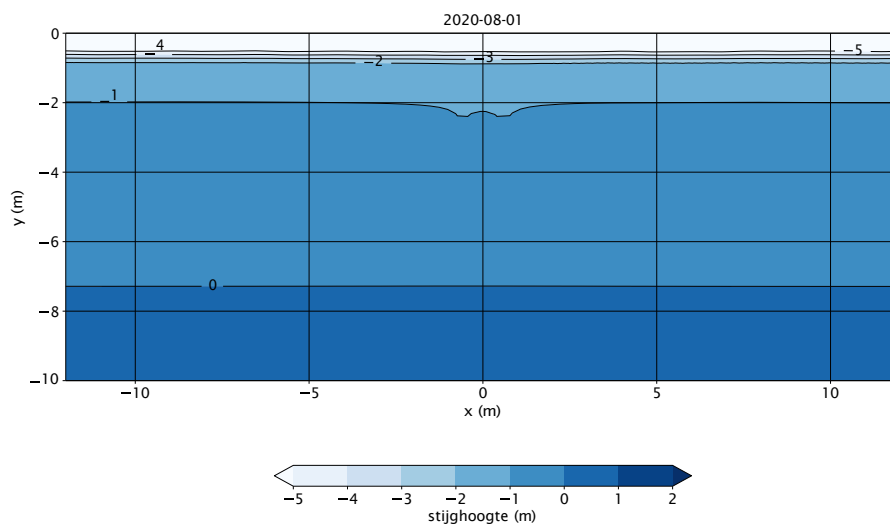
Figuur D.3 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 2, 1 februari 2020.



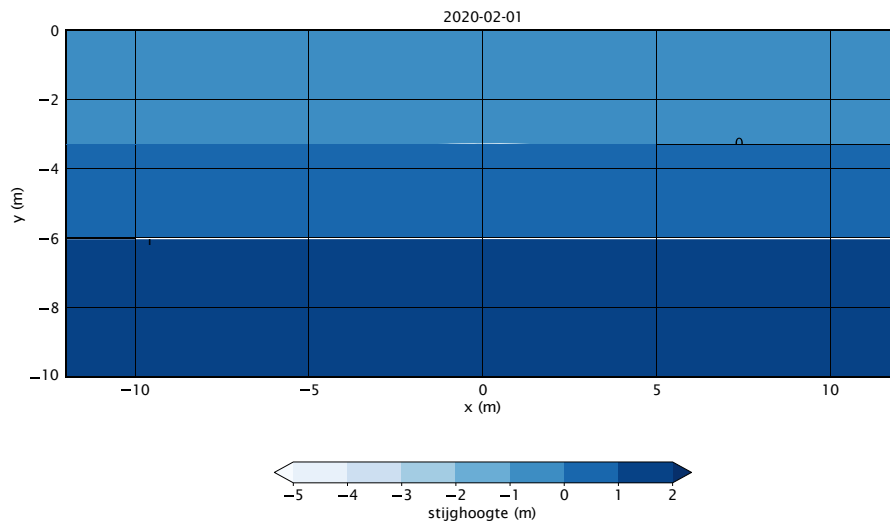
Figuur D.4 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 2, 1 augustus 2020.



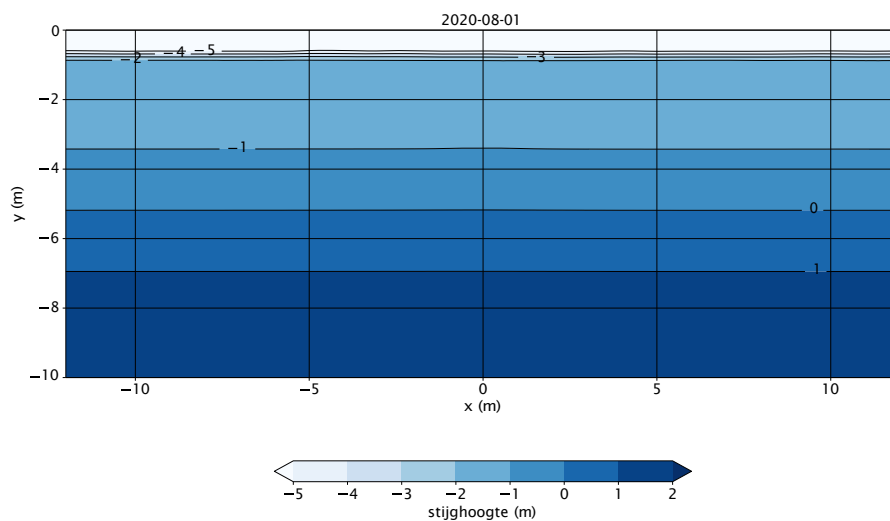
Figuur D.5 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 3, 1 februari 2020.



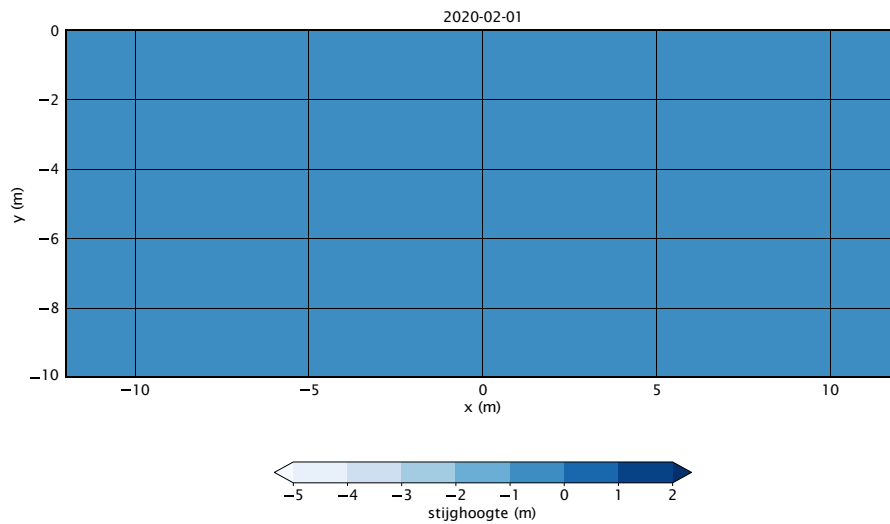
Figuur D.6 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 3, 1 augustus 2020.



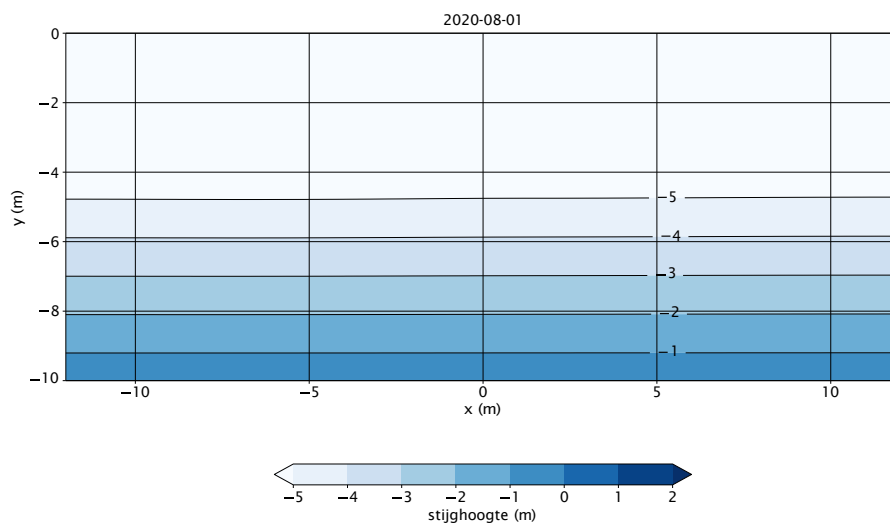
Figuur D.7 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 4, 1 februari 2020.



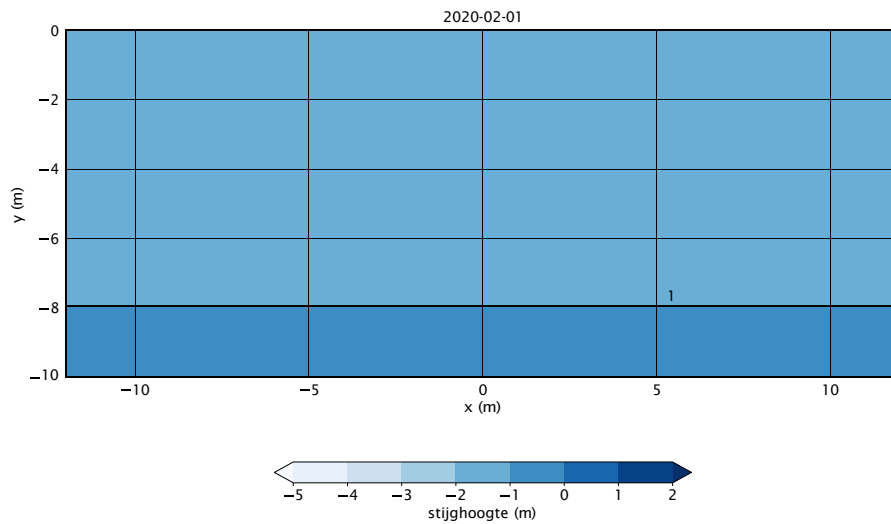
Figuur D.8 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 4, 1 augustus 2020.



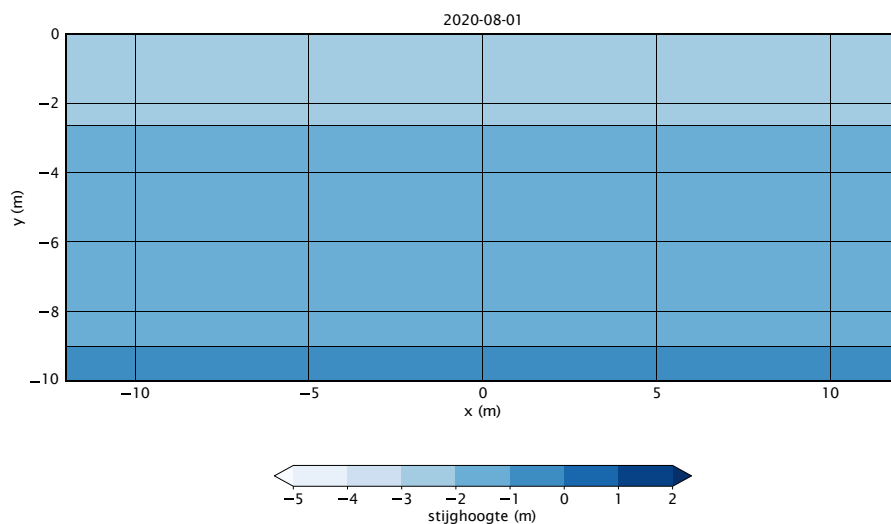
Figuur D.9 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 5, 1 februari 2020.



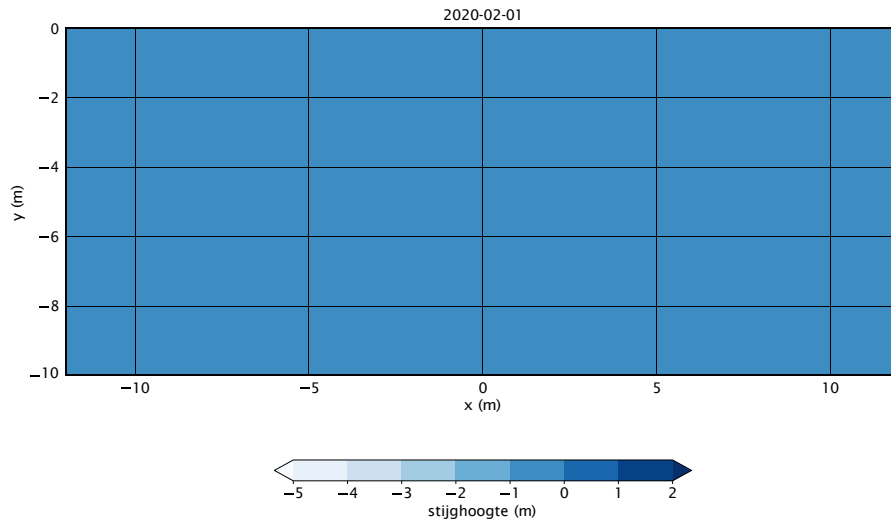
Figuur D.10 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 5, 1 augustus 2020.



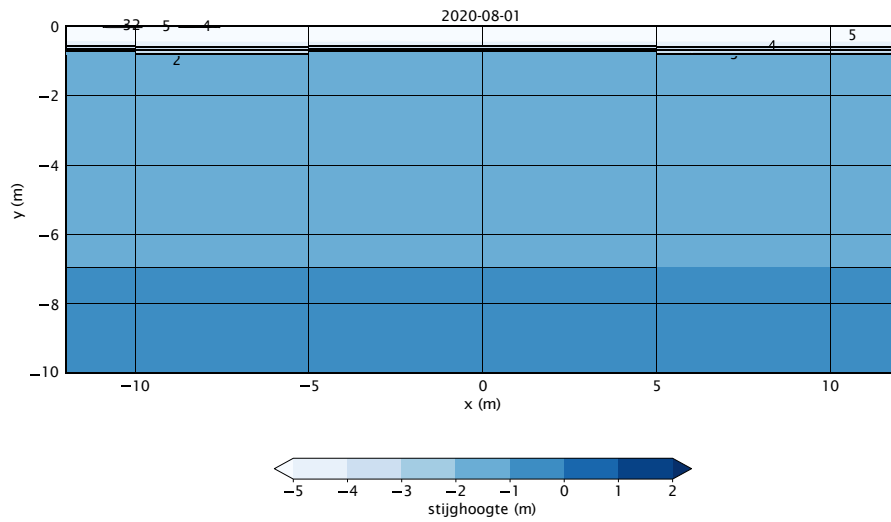
Figuur D.11 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 6, 1 februari 2020.



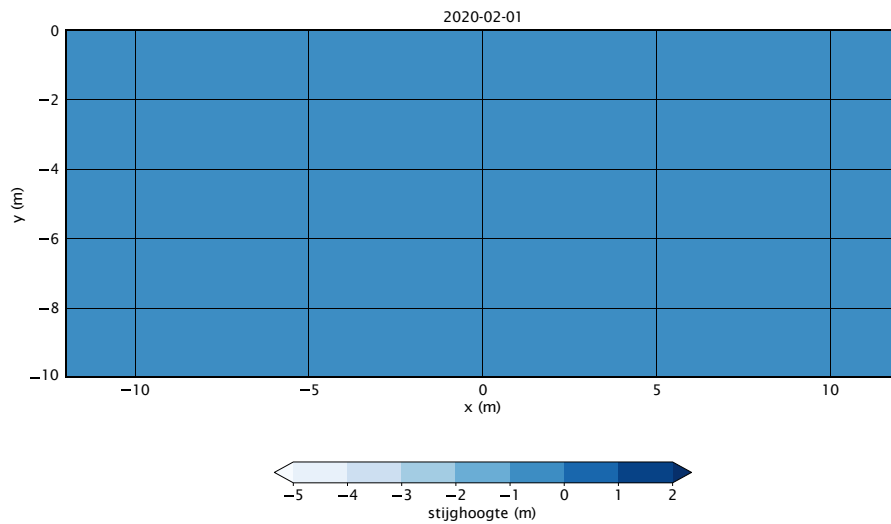
Figuur D.12 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 6, 1 augustus 2020.



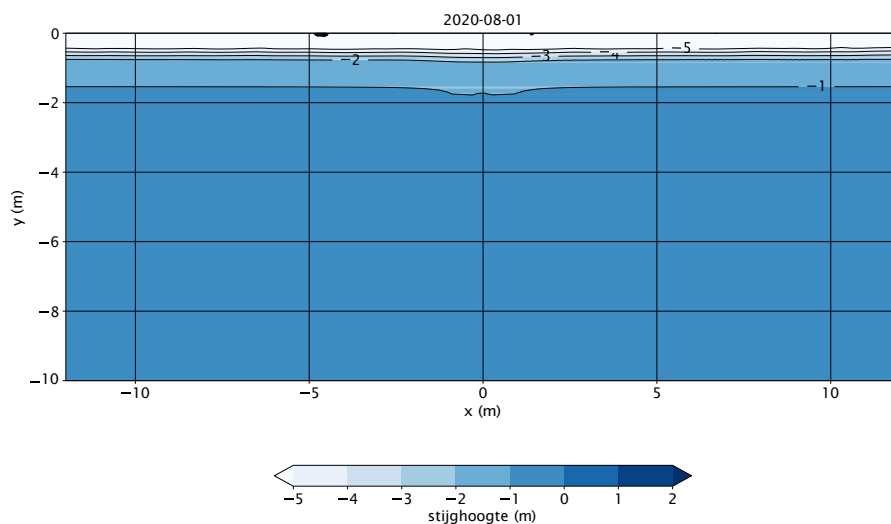
Figuur D.13 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 7, 1 februari 2020.



Figuur D.14 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 7, 1 augustus 2020.

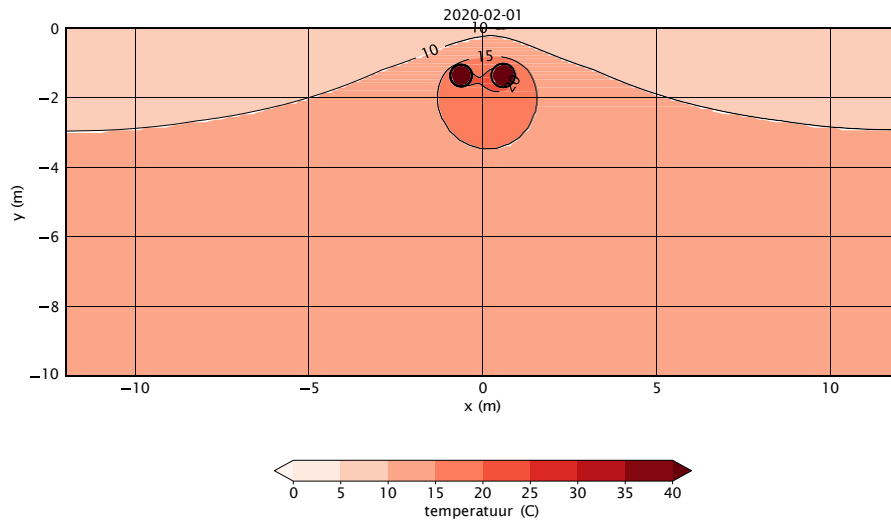


Figuur D.15 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 8, 1 februari 2020.

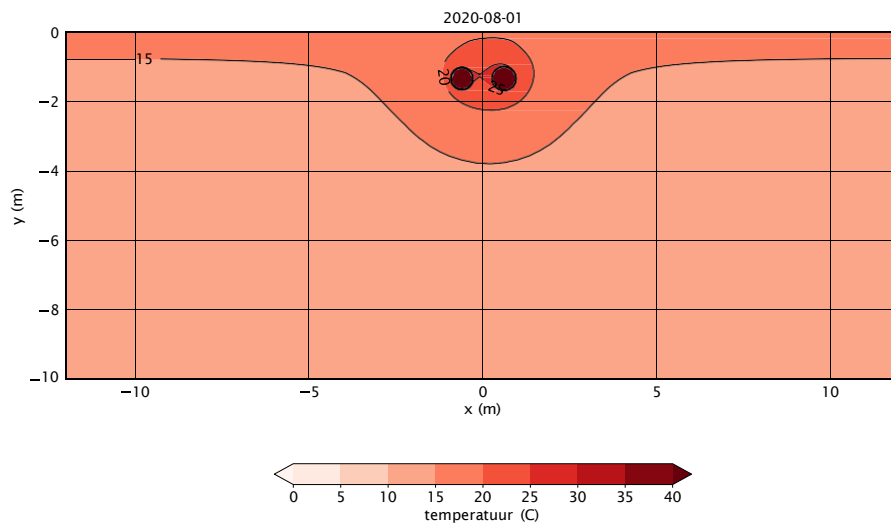


Figuur D.16 Stijghoogteverloop ondergrond profiel 8, 1 augustus 2020.

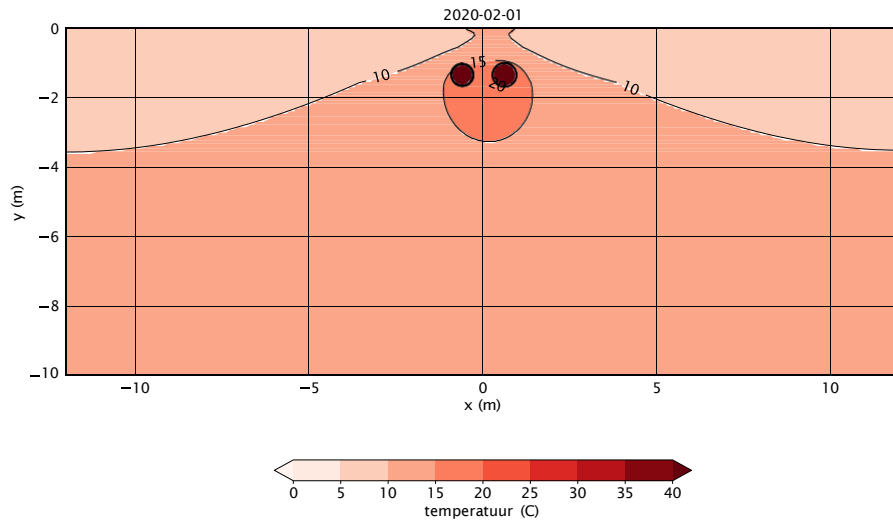
E Temperatuursverloop ondergrond



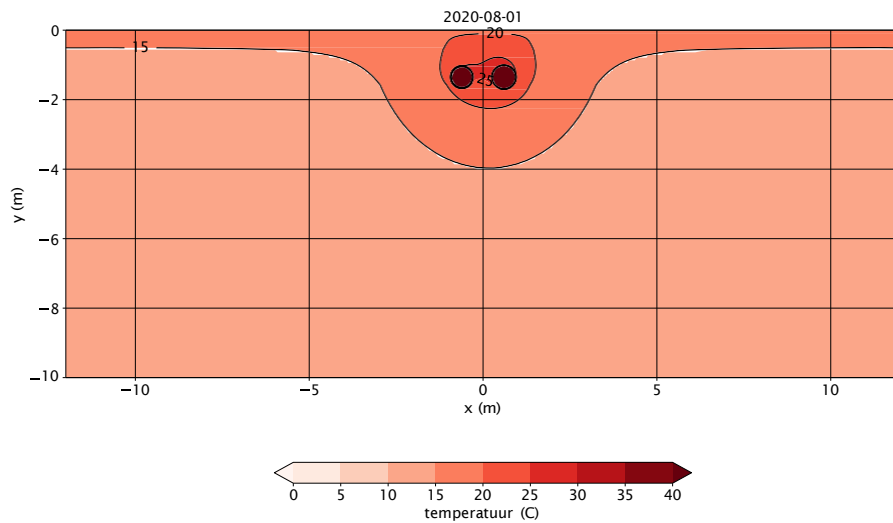
Figuur E.1 Temperatuurverloop ondergrond profiel 1, 1 februari 2020.



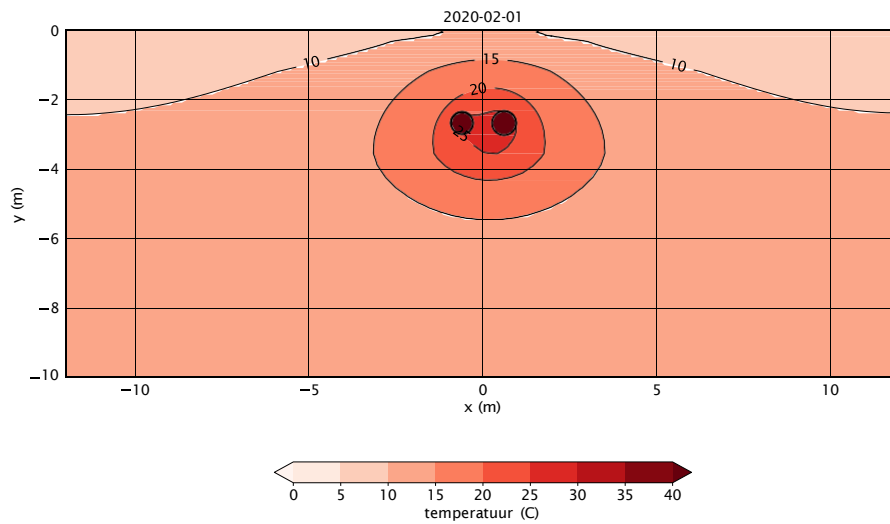
Figuur E.2 Temperatuurverloop ondergrond profiel 1, 1 augustus 2020.



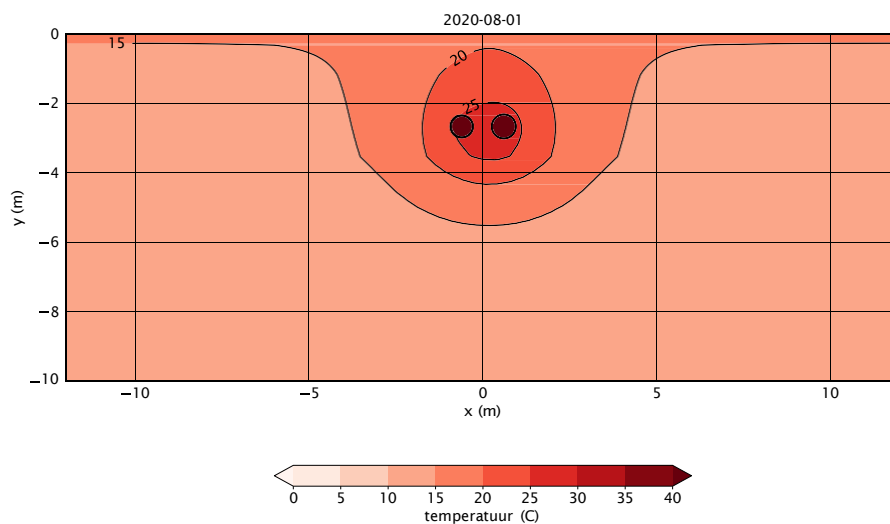
Figuur E.3 Temperatuurverloop ondergrond profiel 2, 1 februari 2020.



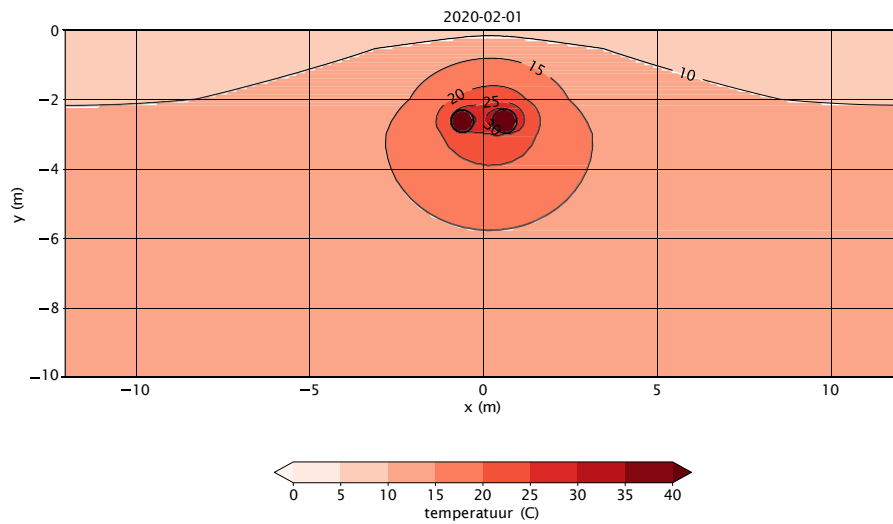
Figuur E.4 Temperatuurverloop ondergrond profiel 2, 1 augustus 2020.



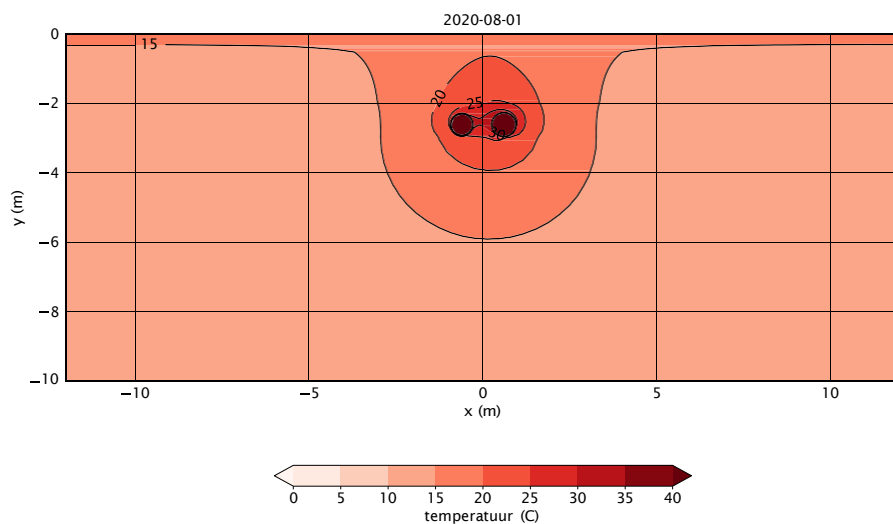
Figuur E.5 Temperatuurverloop ondergrond profiel 3, 1 februari 2020.



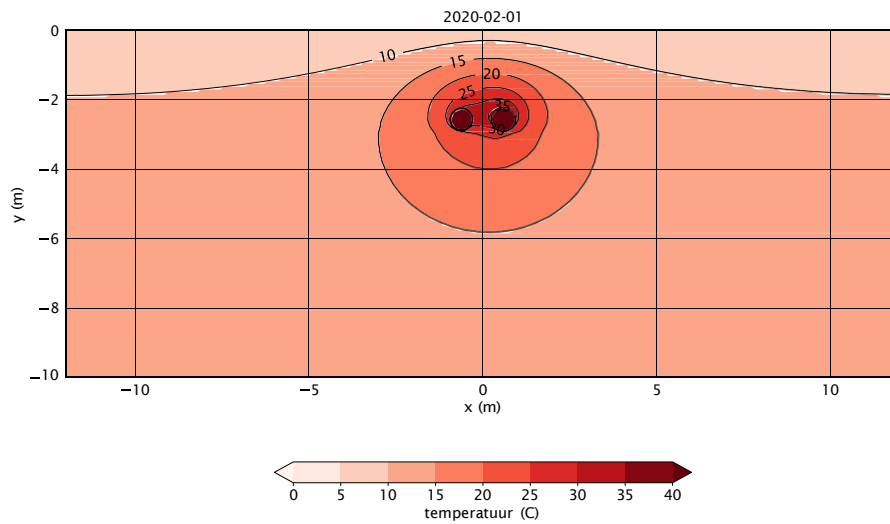
Figuur E.6 Temperatuurverloop ondergrond profiel 3, 1 augustus 2020.



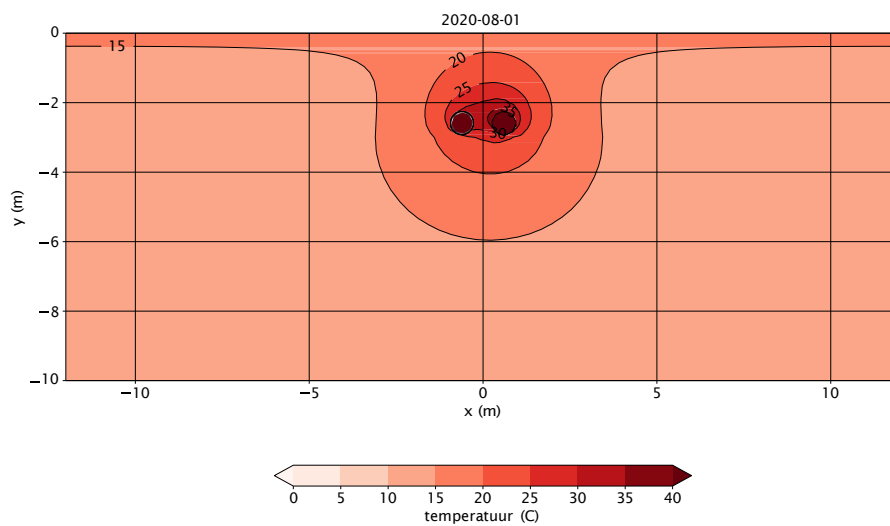
Figuur E.7 Temperatuurverloop ondergrond profiel 4, 1 februari 2020.



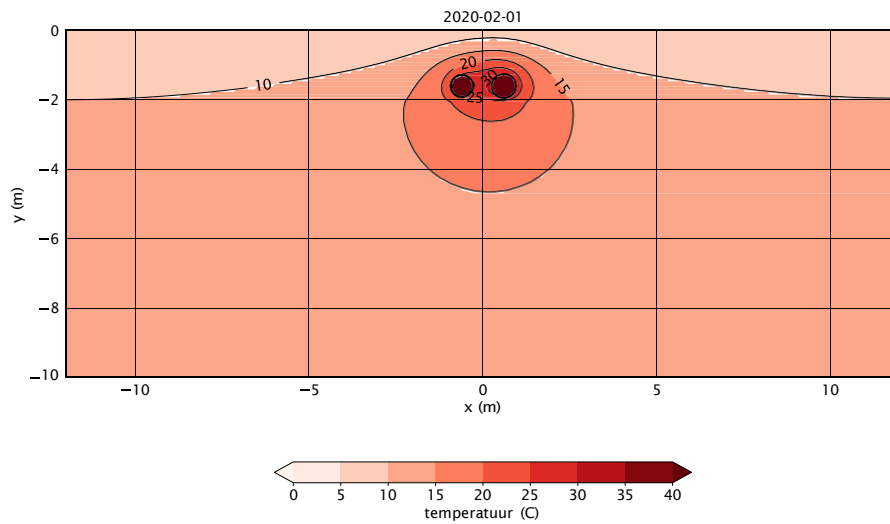
Figuur E.8 Temperatuurverloop ondergrond profiel 4, 1 augustus 2020.



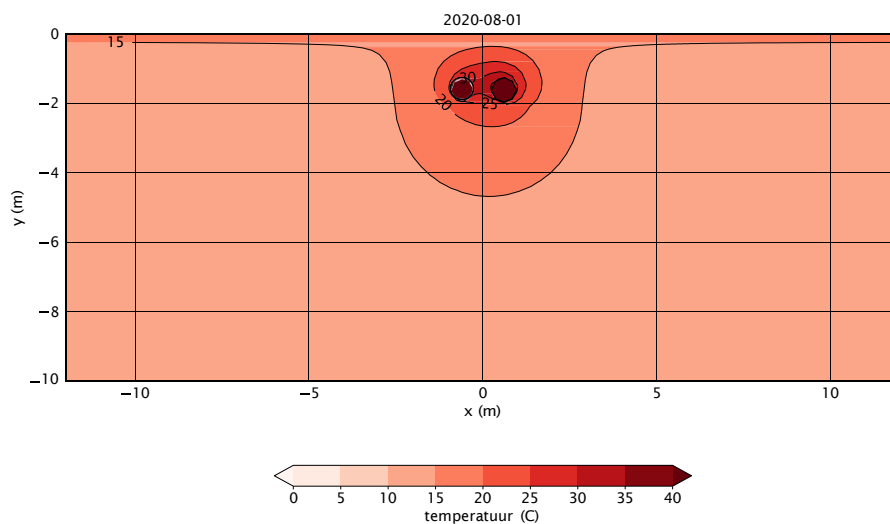
Figuur E.9 Temperatuurverloop ondergrond profiel 5, 1 februari 2020.



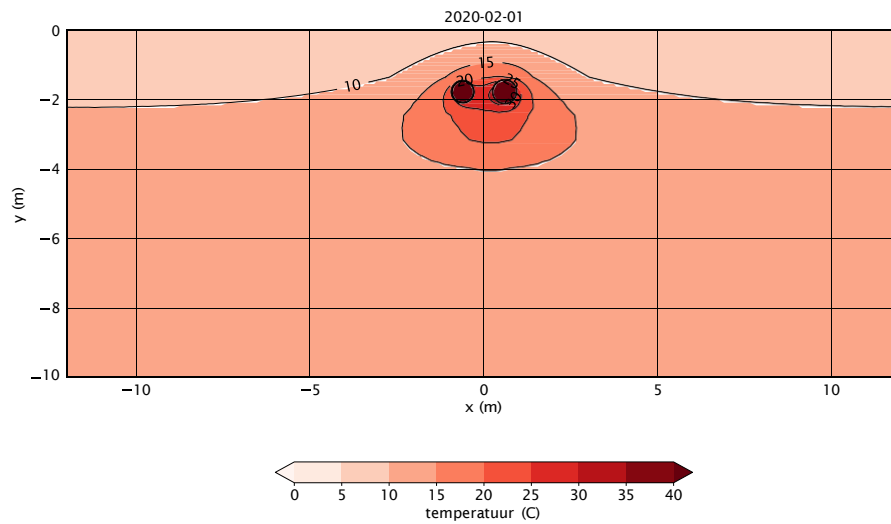
Figuur E.10 Temperatuurverloop ondergrond profiel 5, 1 augustus 2020.



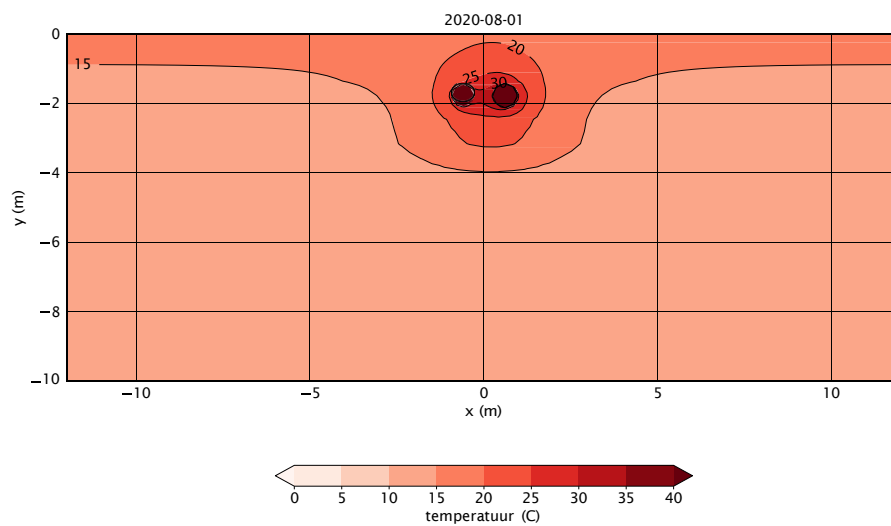
Figuur E.11 Temperatuurverloop ondergrond profiel 6, 1 februari 2020.



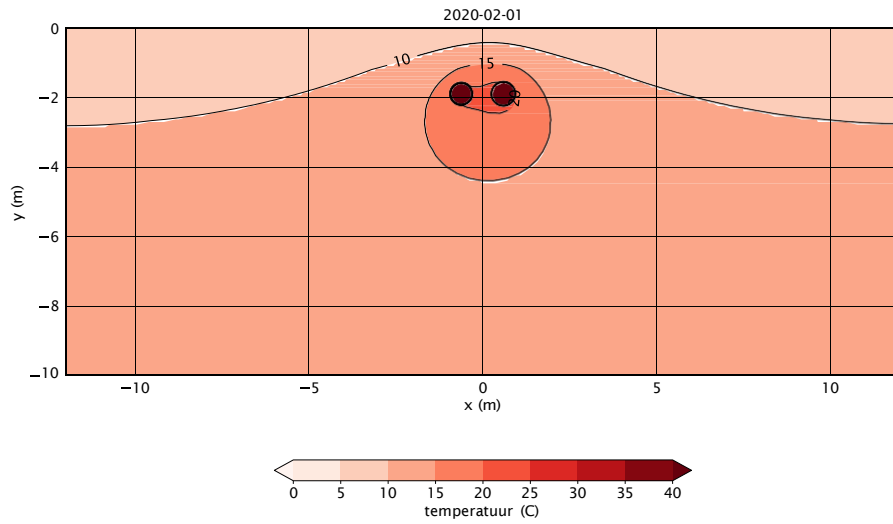
Figuur E.12 Temperatuurverloop ondergrond profiel 6, 1 augustus 2020.



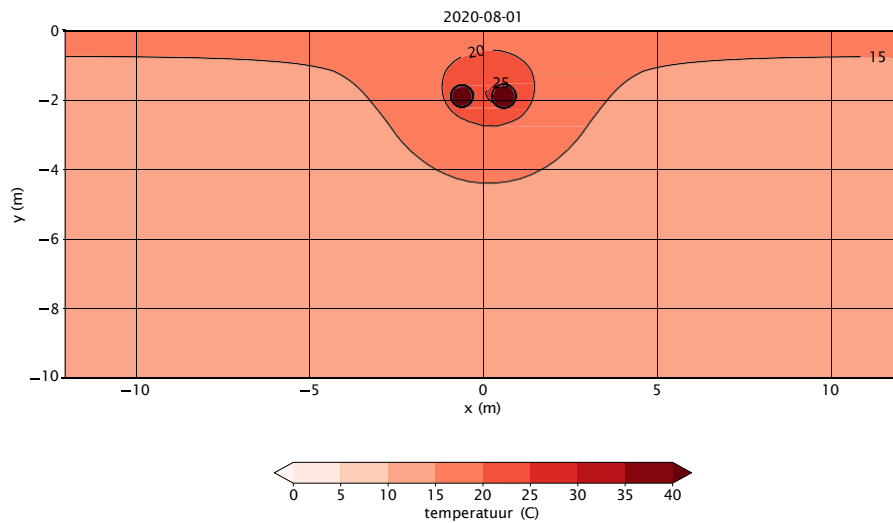
Figuur E.13 Temperatuurverloop ondergrond profiel 7, 1 februari 2020.



Figuur E.14 Temperatuurverloop ondergrond profiel 7, 1 augustus 2020.



Figuur E.15 Temperatuurverloop ondergrond profiel 8, 1 februari 2020.



Figuur E.16 Temperatuurverloop ondergrond profiel 8, 1 augustus 2020.

F Beoordelingstabellen

Tabel F.1 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,26	0,27	0,31	0,41	0,41	0,42
p2	0,42	0,42	0,40	0,27	0,26	0,31	0,27	0,27	0,31	0,41	0,41	0,42
p3	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,36	0,46	0,45	0,47
p4	0,46	0,48	0,46	0,36	0,35	0,36	0,35	0,35	0,36	0,45	0,45	0,47
p5	0,46	0,48	0,47	0,38	0,35	0,36	0,36	0,35	0,36	0,45	0,46	0,47
p6	0,47	0,48	0,48	0,41	0,36	0,36	0,37	0,35	0,37	0,43	0,47	0,47
p7	0,49	0,49	0,49	0,44	0,37	0,36	0,37	0,36	0,37	0,43	0,49	0,49
p8	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,27	0,27	0,31	0,41	0,41	0,42
p9	0,42	0,42	0,40	0,27	0,26	0,31	0,27	0,28	0,31	0,41	0,41	0,42
p10	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p11	0,46	0,48	0,46	0,36	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,45	0,45	0,47
p12	0,46	0,48	0,47	0,37	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,45	0,46	0,47
p13	0,47	0,48	0,48	0,41	0,36	0,36	0,37	0,36	0,37	0,43	0,47	0,47
p14	0,48	0,48	0,49	0,43	0,38	0,37	0,38	0,37	0,38	0,42	0,48	0,47
p15	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,27	0,28	0,31	0,41	0,41	0,42
p16	0,42	0,42	0,40	0,27	0,26	0,31	0,27	0,28	0,31	0,41	0,41	0,42
p17	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p18	0,46	0,48	0,46	0,36	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,45	0,45	0,47
p19	0,46	0,48	0,47	0,37	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,45	0,46	0,47
p20	0,47	0,48	0,48	0,41	0,36	0,36	0,37	0,36	0,37	0,43	0,47	0,47
p21	0,48	0,48	0,49	0,43	0,38	0,37	0,38	0,37	0,38	0,42	0,48	0,47
p22	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,27	0,27	0,31	0,41	0,41	0,42
p23	0,42	0,42	0,40	0,27	0,26	0,31	0,27	0,28	0,31	0,41	0,41	0,42
p24	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p25	0,46	0,48	0,46	0,36	0,35	0,36	0,35	0,35	0,37	0,45	0,45	0,47
p26	0,46	0,48	0,47	0,37	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,45	0,46	0,47
p27	0,47	0,48	0,48	0,41	0,36	0,36	0,37	0,36	0,37	0,44	0,46	0,47
p28	0,48	0,48	0,49	0,43	0,38	0,37	0,38	0,37	0,38	0,42	0,48	0,47
p29	0,41	0,42	0,39	0,26	0,26	0,31	0,27	0,28	0,31	0,41	0,41	0,42
p30	0,42	0,42	0,40	0,27	0,26	0,31	0,27	0,28	0,32	0,41	0,41	0,42
p31	0,46	0,47	0,45	0,35	0,34	0,37	0,35	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p32	0,46	0,48	0,46	0,36	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,46	0,45	0,47
p33	0,46	0,48	0,47	0,37	0,35	0,36	0,36	0,35	0,37	0,45	0,46	0,47
p34	0,47	0,48	0,48	0,41	0,36	0,36	0,37	0,36	0,37	0,44	0,46	0,47
p35	0,48	0,48	0,49	0,43	0,38	0,37	0,38	0,37	0,38	0,42	0,48	0,47

Tabel F.2 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 1 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	8	11	14	18	18	21	16	12	10	7
p2	8	9	9	11	14	18	18	21	17	13	11	8
p3	9	10	10	12	15	19	19	22	18	14	12	9
p4	10	11	11	13	16	19	20	22	19	16	14	10
p5	11	12	12	14	16	20	21	23	20	17	15	11
p6	14	14	14	16	18	21	23	24	23	20	18	15
p7	18	18	18	19	21	24	25	27	26	23	21	18
p8	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	9	6
p9	7	8	8	10	13	17	17	20	16	12	10	7
p10	8	8	8	10	13	17	17	20	16	13	11	8
p11	8	9	9	11	13	17	18	20	17	14	12	8
p12	9	9	9	11	13	17	18	20	17	14	12	9
p13	10	10	10	11	14	16	18	20	18	16	14	11
p14	12	12	12	12	14	16	18	19	19	17	15	13
p15	6	7	7	10	13	17	17	20	15	12	9	6
p16	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	10	6
p17	7	8	8	10	13	16	17	19	16	13	10	7
p18	7	8	8	10	12	16	17	19	16	13	11	8
p19	8	8	8	10	12	16	17	19	16	13	12	8
p20	9	9	9	10	12	15	16	18	17	14	13	10
p21	10	10	10	10	12	14	16	18	17	15	14	11
p22	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p23	6	7	7	10	12	16	17	19	15	12	10	6
p24	7	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	7
p25	7	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	7
p26	7	8	7	9	11	15	16	18	15	13	11	8
p27	8	8	8	9	11	14	15	17	16	13	12	9
p28	8	8	8	9	11	13	14	16	15	14	12	10
p29	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p30	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	9	6
p31	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p32	7	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	7
p33	7	7	7	9	11	15	16	18	15	12	11	7
p34	7	8	8	8	11	13	15	17	15	13	11	8
p35	8	8	8	8	10	12	14	16	15	13	12	9

Tabel F.3 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,35	0,35	0,31	0,18	0,10	0,11	0,09	0,09	0,11	0,21	0,24	0,31
p2	0,35	0,35	0,32	0,20	0,10	0,11	0,09	0,09	0,11	0,22	0,26	0,32
p3	0,35	0,35	0,33	0,21	0,11	0,11	0,09	0,09	0,11	0,22	0,27	0,33
p4	0,35	0,35	0,34	0,22	0,12	0,11	0,09	0,09	0,11	0,23	0,29	0,34
p5	0,35	0,35	0,35	0,24	0,12	0,12	0,10	0,09	0,11	0,24	0,31	0,35
p6	0,49	0,49	0,49	0,46	0,40	0,37	0,36	0,35	0,37	0,42	0,48	0,49
p7	0,49	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,35	0,37	0,41	0,49	0,49
p8	0,35	0,35	0,31	0,18	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,21	0,25	0,31
p9	0,35	0,35	0,32	0,20	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,26	0,32
p10	0,35	0,35	0,33	0,21	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,23	0,27	0,33
p11	0,35	0,35	0,34	0,22	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12	0,23	0,29	0,34
p12	0,35	0,35	0,35	0,24	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12	0,24	0,31	0,35
p13	0,49	0,49	0,49	0,46	0,40	0,37	0,37	0,35	0,37	0,42	0,48	0,49
p14	0,49	0,49	0,49	0,49	0,45	0,40	0,40	0,37	0,38	0,41	0,48	0,49
p15	0,35	0,35	0,31	0,19	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,25	0,31
p16	0,35	0,35	0,32	0,20	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,26	0,32
p17	0,35	0,35	0,33	0,21	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,23	0,27	0,33
p18	0,35	0,35	0,34	0,23	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12	0,24	0,29	0,34
p19	0,35	0,35	0,35	0,24	0,13	0,12	0,10	0,09	0,12	0,25	0,31	0,35
p20	0,49	0,49	0,49	0,46	0,40	0,37	0,37	0,35	0,37	0,42	0,48	0,49
p21	0,49	0,49	0,49	0,49	0,45	0,40	0,40	0,37	0,39	0,42	0,48	0,49
p22	0,35	0,35	0,31	0,19	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,25	0,31
p23	0,35	0,35	0,32	0,20	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,26	0,32
p24	0,35	0,35	0,33	0,21	0,11	0,12	0,10	0,09	0,12	0,23	0,27	0,33
p25	0,35	0,35	0,34	0,23	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12	0,24	0,29	0,34
p26	0,35	0,35	0,35	0,24	0,13	0,12	0,11	0,09	0,12	0,25	0,31	0,35
p27	0,49	0,49	0,49	0,46	0,40	0,37	0,37	0,35	0,37	0,42	0,48	0,49
p28	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,41	0,37	0,39	0,42	0,48	0,49
p29	0,35	0,35	0,31	0,19	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,25	0,31
p30	0,35	0,35	0,32	0,20	0,11	0,12	0,09	0,09	0,12	0,22	0,26	0,32
p31	0,35	0,35	0,33	0,21	0,11	0,12	0,10	0,09	0,12	0,23	0,28	0,33
p32	0,35	0,35	0,34	0,23	0,12	0,12	0,10	0,09	0,12	0,24	0,29	0,34
p33	0,35	0,35	0,35	0,24	0,13	0,12	0,11	0,09	0,12	0,25	0,31	0,35
p34	0,49	0,49	0,49	0,46	0,40	0,38	0,37	0,35	0,37	0,42	0,48	0,49
p35	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,41	0,37	0,39	0,42	0,48	0,49

Tabel F.4 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 2 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	7	7	11	14	18	18	21	16	12	10	6
p2	8	8	8	12	15	19	19	22	18	13	11	7
p3	8	9	9	12	16	19	20	22	19	15	12	8
p4	9	9	9	13	16	20	21	23	20	16	13	9
p5	9	10	10	13	17	21	22	24	21	17	14	10
p6	12	13	13	15	19	22	24	26	24	20	17	13
p7	16	16	16	18	22	25	26	28	27	23	20	17
p8	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	9	6
p9	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	10	6
p10	7	8	8	10	13	17	18	20	17	13	11	7
p11	7	8	8	11	13	17	18	20	17	14	11	8
p12	8	8	8	11	13	17	18	20	18	14	12	8
p13	9	9	9	11	14	16	18	19	18	16	13	10
p14	10	11	11	12	14	16	18	19	19	17	15	12
p15	6	7	7	10	13	17	17	20	15	12	9	6
p16	6	7	7	10	13	17	17	19	16	12	10	6
p17	7	7	7	10	13	16	17	19	16	12	10	7
p18	7	8	7	10	12	16	16	18	16	13	11	7
p19	7	8	8	10	12	15	16	18	16	13	11	7
p20	8	8	8	10	12	15	16	17	17	14	12	9
p21	9	9	9	10	12	14	16	17	17	15	13	10
p22	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	5
p23	6	7	7	10	12	16	16	19	15	12	9	6
p24	6	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	6
p25	6	7	7	9	12	15	15	17	15	12	10	7
p26	7	7	7	9	11	14	15	17	15	12	10	7
p27	7	8	8	9	11	13	14	16	15	13	11	8
p28	8	8	8	9	10	12	14	15	15	13	12	9
p29	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	5
p30	6	7	7	10	12	16	16	18	15	11	9	6
p31	6	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	6
p32	6	7	7	9	11	15	15	17	15	12	10	6
p33	6	7	7	9	11	14	15	16	15	12	10	7
p34	7	7	7	8	10	13	14	15	14	12	11	8
p35	8	8	8	8	10	12	13	14	14	13	11	9

Tabel F.5 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,57	0,54	0,37	0,28	0,33	0,29	0,29	0,33	0,49	0,52	0,57
p2	0,57	0,57	0,55	0,39	0,29	0,34	0,30	0,29	0,34	0,50	0,53	0,57
p3	0,57	0,57	0,55	0,40	0,30	0,34	0,31	0,30	0,34	0,51	0,54	0,57
p4	0,49	0,49	0,48	0,41	0,36	0,37	0,36	0,35	0,37	0,44	0,47	0,49
p5	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,43	0,48	0,49
p6	0,49	0,49	0,49	0,48	0,43	0,40	0,40	0,38	0,38	0,41	0,48	0,49
p7	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,44	0,42	0,41	0,43	0,48	0,49
p8	0,57	0,57	0,54	0,38	0,28	0,33	0,29	0,29	0,33	0,49	0,52	0,57
p9	0,57	0,57	0,55	0,39	0,29	0,34	0,30	0,29	0,34	0,50	0,53	0,57
p10	0,57	0,57	0,55	0,40	0,30	0,34	0,31	0,29	0,34	0,51	0,54	0,57
p11	0,49	0,49	0,48	0,41	0,36	0,37	0,36	0,35	0,37	0,44	0,47	0,49
p12	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,43	0,48	0,49
p13	0,49	0,49	0,49	0,48	0,43	0,40	0,40	0,38	0,38	0,41	0,48	0,49
p14	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,44	0,42	0,41	0,43	0,49	0,49
p15	0,57	0,57	0,54	0,38	0,28	0,34	0,29	0,29	0,33	0,49	0,52	0,57
p16	0,57	0,57	0,55	0,39	0,29	0,34	0,30	0,29	0,34	0,50	0,53	0,57
p17	0,57	0,57	0,55	0,40	0,30	0,34	0,31	0,29	0,34	0,51	0,54	0,57
p18	0,49	0,49	0,48	0,41	0,36	0,37	0,36	0,35	0,37	0,44	0,47	0,49
p19	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,43	0,48	0,49
p20	0,49	0,49	0,49	0,48	0,43	0,40	0,40	0,38	0,39	0,42	0,48	0,49
p21	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,44	0,42	0,42	0,43	0,49	0,49
p22	0,57	0,57	0,54	0,38	0,28	0,33	0,29	0,29	0,34	0,49	0,52	0,57
p23	0,57	0,57	0,55	0,39	0,29	0,34	0,30	0,29	0,34	0,50	0,53	0,57
p24	0,57	0,57	0,55	0,40	0,30	0,34	0,31	0,29	0,35	0,51	0,54	0,57
p25	0,49	0,49	0,48	0,41	0,36	0,37	0,36	0,35	0,37	0,44	0,47	0,49
p26	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,35	0,37	0,43	0,48	0,49
p27	0,49	0,49	0,49	0,48	0,44	0,40	0,40	0,38	0,39	0,42	0,49	0,49
p28	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,44	0,43	0,42	0,43	0,49	0,49
p29	0,57	0,57	0,54	0,38	0,28	0,33	0,29	0,29	0,34	0,49	0,52	0,57
p30	0,57	0,57	0,55	0,39	0,29	0,33	0,30	0,29	0,34	0,50	0,53	0,57
p31	0,57	0,57	0,55	0,40	0,30	0,34	0,31	0,30	0,35	0,51	0,55	0,57
p32	0,49	0,49	0,48	0,41	0,36	0,37	0,36	0,35	0,37	0,44	0,47	0,49
p33	0,49	0,49	0,49	0,43	0,37	0,37	0,37	0,36	0,37	0,43	0,48	0,49
p34	0,49	0,49	0,49	0,48	0,44	0,40	0,40	0,38	0,39	0,42	0,49	0,49
p35	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,44	0,43	0,42	0,43	0,49	0,49

Tabel F.6 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 3 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	8	8	8	11	14	18	18	20	16	13	11	7
p2	9	10	10	12	15	18	18	21	18	15	13	10
p3	11	11	11	13	15	18	19	21	19	16	15	12
p4	12	12	12	14	16	18	19	21	20	18	16	13
p5	13	13	13	14	16	18	19	21	20	18	17	14
p6	14	14	14	15	17	19	20	21	21	20	18	16
p7	16	16	16	16	18	19	21	22	22	21	20	18
p8	7	8	8	11	14	17	17	20	16	13	10	7
p9	9	9	9	11	14	17	18	20	17	14	12	9
p10	10	10	10	12	14	17	18	20	18	16	14	11
p11	11	11	11	12	14	17	18	20	19	17	15	12
p12	12	12	12	13	15	17	18	20	19	17	15	13
p13	13	13	13	13	15	17	18	20	20	18	17	15
p14	14	14	14	14	16	17	19	20	20	19	18	16
p15	7	8	8	11	13	17	17	20	16	12	10	7
p16	8	9	9	11	13	16	17	19	16	14	12	9
p17	9	10	10	11	13	16	17	19	17	15	13	10
p18	10	10	10	11	13	16	17	18	17	15	14	11
p19	11	11	11	12	13	16	17	18	18	16	14	12
p20	12	12	11	12	14	15	17	18	18	17	15	13
p21	13	12	12	13	14	15	17	18	18	17	16	14
p22	7	7	7	10	13	16	16	19	15	12	9	6
p23	7	8	8	10	12	15	16	18	15	12	11	8
p24	8	8	8	10	11	14	15	17	15	13	11	9
p25	8	9	9	9	11	13	15	16	15	13	12	10
p26	9	9	9	9	11	13	14	16	15	14	12	10
p27	9	9	9	10	11	13	14	15	15	14	13	11
p28	10	10	10	10	11	12	14	15	15	14	13	12
p29	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p30	7	7	7	9	12	15	15	17	15	12	10	7
p31	7	8	8	9	11	13	14	16	14	12	11	8
p32	8	8	8	9	10	13	14	15	14	13	11	9
p33	8	8	8	9	10	12	13	15	14	13	11	9
p34	9	8	8	9	10	12	13	14	14	13	12	10
p35	9	9	9	9	10	11	12	13	14	13	12	10

Tabel F.7 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p2	0,57	0,57	0,55	0,43	0,34	0,34	0,31	0,29	0,33	0,46	0,51	0,57
p3	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,34	0,32	0,30	0,34	0,47	0,52	0,57
p4	0,57	0,57	0,56	0,46	0,36	0,34	0,33	0,30	0,34	0,47	0,53	0,57
p5	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,31	0,35	0,48	0,55	0,57
p6	0,49	0,49	0,49	0,47	0,43	0,40	0,40	0,37	0,38	0,42	0,48	0,49
p7	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,45	0,43	0,42	0,44	0,49	0,49
p8	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p9	0,57	0,57	0,55	0,43	0,34	0,33	0,31	0,29	0,34	0,46	0,51	0,57
p10	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,33	0,32	0,29	0,34	0,47	0,52	0,57
p11	0,57	0,57	0,56	0,46	0,36	0,34	0,33	0,30	0,34	0,47	0,53	0,57
p12	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,34	0,34	0,30	0,35	0,48	0,55	0,57
p13	0,49	0,49	0,49	0,47	0,43	0,40	0,40	0,37	0,38	0,42	0,48	0,49
p14	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,45	0,43	0,42	0,44	0,49	0,49
p15	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p16	0,57	0,57	0,55	0,43	0,34	0,33	0,31	0,29	0,34	0,46	0,51	0,57
p17	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,33	0,32	0,29	0,34	0,47	0,52	0,57
p18	0,57	0,57	0,56	0,46	0,36	0,34	0,33	0,30	0,34	0,47	0,53	0,57
p19	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,30	0,35	0,48	0,55	0,57
p20	0,49	0,49	0,49	0,47	0,43	0,40	0,40	0,37	0,38	0,42	0,48	0,49
p21	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,45	0,43	0,42	0,44	0,49	0,49
p22	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p23	0,57	0,57	0,55	0,44	0,34	0,33	0,31	0,29	0,33	0,46	0,51	0,57
p24	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,34	0,32	0,29	0,34	0,47	0,52	0,57
p25	0,57	0,57	0,56	0,46	0,36	0,34	0,33	0,30	0,34	0,47	0,53	0,57
p26	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,30	0,34	0,48	0,55	0,57
p27	0,49	0,49	0,49	0,47	0,43	0,40	0,40	0,37	0,38	0,42	0,48	0,49
p28	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,45	0,43	0,42	0,44	0,49	0,49
p29	0,57	0,57	0,54	0,42	0,32	0,33	0,30	0,29	0,33	0,46	0,50	0,56
p30	0,57	0,57	0,55	0,44	0,34	0,33	0,31	0,29	0,33	0,46	0,51	0,57
p31	0,57	0,57	0,56	0,45	0,35	0,34	0,32	0,29	0,34	0,47	0,52	0,57
p32	0,57	0,57	0,56	0,46	0,36	0,34	0,33	0,30	0,34	0,47	0,53	0,57
p33	0,57	0,57	0,57	0,47	0,37	0,35	0,34	0,30	0,35	0,48	0,55	0,57
p34	0,49	0,49	0,49	0,47	0,43	0,40	0,40	0,37	0,38	0,42	0,48	0,49
p35	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,45	0,45	0,43	0,42	0,44	0,49	0,49

Tabel F.8 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 4 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	8	11	14	18	18	20	16	13	10	7
p2	9	9	9	12	14	18	18	20	17	14	12	9
p3	10	10	10	12	15	18	18	20	18	15	14	11
p4	12	12	12	13	15	18	19	21	19	17	15	13
p5	13	13	13	14	16	18	19	21	20	18	17	14
p6	15	15	14	15	16	18	19	21	21	20	18	17
p7	16	16	16	16	17	19	20	21	22	21	20	18
p8	7	8	8	11	13	17	17	20	16	12	10	7
p9	8	9	9	11	13	17	17	20	16	13	11	8
p10	9	10	10	11	14	17	17	19	17	14	13	10
p11	10	11	10	12	14	16	17	19	18	16	14	11
p12	11	11	11	12	14	16	17	19	18	17	15	13
p13	13	13	13	13	14	16	17	19	19	18	17	15
p14	14	13	13	14	15	16	17	19	19	18	17	16
p15	7	7	7	10	13	17	17	19	15	12	10	6
p16	8	8	8	10	13	16	17	19	16	13	11	8
p17	9	9	9	10	13	16	16	18	16	14	12	9
p18	9	10	10	11	13	15	16	18	16	14	13	10
p19	10	10	10	11	13	15	16	17	17	15	14	12
p20	11	11	11	11	13	14	16	17	17	16	15	13
p21	12	12	12	12	13	14	16	17	17	16	16	14
p22	6	7	7	10	13	16	16	19	15	12	9	6
p23	7	8	7	10	12	15	16	18	15	12	10	7
p24	7	8	8	9	11	14	15	17	15	12	11	8
p25	8	8	8	9	11	14	14	16	15	13	11	9
p26	9	9	9	9	11	13	14	15	15	13	12	10
p27	9	9	9	9	10	12	13	14	14	14	13	11
p28	10	9	9	9	10	12	13	14	14	14	13	11
p29	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p30	7	7	7	9	12	15	15	18	15	12	10	7
p31	7	8	7	9	11	14	15	17	14	12	10	8
p32	8	8	8	9	11	13	14	16	14	12	11	8
p33	8	8	8	9	10	12	13	14	14	13	11	9
p34	9	8	8	9	10	11	12	13	14	13	12	10
p35	9	9	9	9	10	11	12	13	13	13	12	11

Tabel F.9 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,36	0,54	0,56	0,57
p2	0,57	0,57	0,54	0,33	0,28	0,34	0,31	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p3	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p4	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p6	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p8	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,36	0,54	0,56	0,57
p9	0,57	0,57	0,54	0,33	0,28	0,34	0,31	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p10	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p11	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p12	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p13	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p14	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p15	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,36	0,54	0,56	0,57
p16	0,57	0,57	0,54	0,33	0,28	0,34	0,31	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p17	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p18	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p19	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p20	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p21	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p22	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,36	0,54	0,56	0,57
p23	0,57	0,57	0,54	0,33	0,28	0,35	0,31	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p24	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p25	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p26	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p27	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p28	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p29	0,57	0,57	0,53	0,32	0,27	0,34	0,30	0,30	0,36	0,54	0,56	0,57
p30	0,57	0,57	0,54	0,33	0,28	0,34	0,31	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p31	0,57	0,57	0,54	0,34	0,28	0,35	0,32	0,30	0,37	0,55	0,57	0,57
p32	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p33	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p34	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
p35	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Tabel F.10 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 5 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	8	11	14	18	18	20	16	13	10	7
p2	8	9	9	11	14	18	18	20	17	14	12	8
p3	9	10	10	12	14	18	19	21	18	15	13	10
p4	10	11	11	12	15	18	19	21	19	16	14	11
p5	11	12	12	13	15	18	19	21	20	17	16	13
p6	14	14	14	15	16	19	20	22	22	20	18	16
p7	17	16	16	17	18	20	21	23	23	22	21	19
p8	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	10	6
p9	8	8	8	10	13	17	17	20	17	13	11	8
p10	8	9	9	11	13	16	17	19	17	14	12	9
p11	9	10	10	11	13	16	17	19	18	15	13	10
p12	10	10	10	11	13	16	17	19	18	16	14	11
p13	12	12	12	12	14	16	18	19	19	17	16	14
p14	14	13	13	13	15	16	18	19	20	19	17	16
p15	7	7	7	10	13	17	17	20	15	12	10	6
p16	7	8	8	10	13	16	17	19	16	13	11	7
p17	8	8	8	10	12	16	16	18	16	13	12	8
p18	8	9	9	10	12	15	16	18	17	14	12	9
p19	9	9	9	10	12	15	16	18	17	15	13	10
p20	10	10	10	11	12	14	16	17	17	16	14	12
p21	12	11	11	11	13	14	16	17	17	16	15	14
p22	6	7	7	10	13	16	16	19	15	12	9	6
p23	7	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	7
p24	7	7	7	9	11	14	15	17	15	13	11	7
p25	7	8	8	9	11	14	15	17	15	13	11	8
p26	8	8	8	9	11	13	15	16	15	13	12	9
p27	9	8	8	9	10	12	14	15	15	14	12	10
p28	9	9	9	9	10	11	13	14	15	14	13	11
p29	6	7	7	10	12	16	16	19	15	11	9	6
p30	6	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	6
p31	7	7	7	9	11	14	15	17	15	12	10	7
p32	7	7	7	8	11	13	15	16	15	13	11	8
p33	7	8	8	8	10	13	14	16	15	13	11	8
p34	8	8	8	8	10	12	13	14	14	13	12	10
p35	9	8	8	8	9	11	12	13	14	13	12	10

Tabel F.11 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 6 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	6	6	5	9	12	16	16	19	14	11	8	5
p2	6	6	6	9	12	16	16	19	14	11	8	5
p3	6	6	6	9	12	16	16	19	15	11	9	5
p4	6	7	6	9	12	16	16	19	15	11	9	6
p5	6	7	6	9	12	16	16	19	15	12	9	6
p6	8	8	8	10	13	17	18	20	17	13	11	8
p7	15	15	15	16	18	21	23	25	23	20	18	15
p8	6	6	5	8	11	16	16	18	14	10	8	5
p9	6	6	5	8	11	16	16	19	14	11	8	5
p10	6	6	5	8	11	16	16	19	14	11	8	5
p11	6	6	6	8	11	16	16	19	14	11	9	5
p12	6	6	6	8	11	16	16	19	14	11	9	5
p13	6	7	6	8	11	15	16	19	15	12	10	6
p14	9	9	9	10	12	15	16	18	17	14	12	9
p15	6	6	5	8	11	16	16	18	14	10	8	5
p16	6	6	5	8	11	16	16	18	14	10	8	5
p17	6	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p18	6	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p19	6	6	5	8	11	15	15	18	14	11	9	5
p20	6	6	6	8	11	15	15	18	14	11	9	6
p21	8	8	7	8	11	14	15	17	15	13	11	8
p22	6	6	5	8	11	16	15	18	14	10	8	5
p23	5	6	5	8	11	15	15	18	14	10	8	5
p24	5	6	5	8	11	15	15	18	14	10	8	5
p25	5	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p26	5	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p27	6	6	6	8	11	15	15	18	14	11	9	6
p28	7	7	7	7	10	13	14	16	14	12	10	7
p29	6	6	5	8	11	16	15	18	14	10	8	5
p30	5	6	5	8	11	15	15	18	14	10	8	5
p31	5	6	5	8	11	15	15	18	14	10	8	5
p32	5	6	5	8	11	15	15	18	14	10	8	5
p33	5	6	5	8	11	15	15	18	14	11	8	5
p34	6	6	6	8	11	15	15	18	14	11	9	5
p35	7	7	6	7	10	13	14	16	14	12	10	7

Tabel F.12 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,48	0,49	0,45	0,34	0,34	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p2	0,49	0,49	0,46	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p3	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p4	0,49	0,49	0,48	0,39	0,37	0,37	0,36	0,36	0,37	0,48	0,49	0,49
p5	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p6	0,49	0,49	0,49	0,47	0,42	0,40	0,39	0,38	0,39	0,47	0,49	0,49
p7	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,48	0,49	0,49
p8	0,48	0,49	0,45	0,34	0,34	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p9	0,49	0,49	0,46	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p10	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p11	0,49	0,49	0,48	0,39	0,37	0,37	0,36	0,36	0,37	0,48	0,49	0,49
p12	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p13	0,49	0,49	0,49	0,47	0,42	0,40	0,39	0,38	0,39	0,48	0,49	0,49
p14	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,48	0,49	0,49
p15	0,48	0,49	0,45	0,34	0,34	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p16	0,49	0,49	0,46	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p17	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p18	0,49	0,49	0,48	0,39	0,37	0,37	0,36	0,36	0,37	0,48	0,49	0,49
p19	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p20	0,49	0,49	0,49	0,47	0,42	0,40	0,39	0,38	0,39	0,47	0,49	0,49
p21	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,48	0,49	0,49
p22	0,48	0,49	0,45	0,34	0,34	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p23	0,49	0,49	0,46	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p24	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p25	0,49	0,49	0,48	0,39	0,37	0,37	0,36	0,36	0,37	0,48	0,49	0,49
p26	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p27	0,49	0,49	0,49	0,47	0,42	0,40	0,39	0,38	0,39	0,47	0,49	0,49
p28	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,48	0,49	0,49
p29	0,48	0,49	0,45	0,34	0,35	0,37	0,34	0,36	0,39	0,48	0,48	0,49
p30	0,49	0,49	0,46	0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p31	0,49	0,49	0,48	0,37	0,36	0,37	0,35	0,35	0,37	0,48	0,49	0,49
p32	0,49	0,49	0,48	0,39	0,37	0,37	0,36	0,36	0,37	0,48	0,49	0,49
p33	0,49	0,49	0,49	0,42	0,38	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p34	0,49	0,49	0,49	0,47	0,42	0,40	0,39	0,38	0,39	0,48	0,49	0,49
p35	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,48	0,49	0,49

Tabel F.13 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 7 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	8	7	11	14	18	18	21	16	12	10	6
p2	8	8	8	11	14	18	18	21	17	13	11	8
p3	9	9	9	12	14	18	19	21	18	14	12	9
p4	10	10	10	12	15	18	19	22	19	16	13	10
p5	10	11	11	13	15	19	20	22	20	17	15	11
p6	13	13	13	14	17	20	21	23	22	19	17	14
p7	16	15	16	16	19	21	23	25	24	22	20	17
p8	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	9	6
p9	7	8	8	10	13	17	17	20	16	13	10	7
p10	8	8	8	10	13	17	18	20	17	13	11	8
p11	8	9	9	10	13	17	18	20	17	14	12	9
p12	9	9	9	11	13	17	18	20	18	15	13	9
p13	10	10	10	11	13	16	18	20	19	16	14	11
p14	11	11	11	12	14	16	18	20	20	17	15	13
p15	6	7	7	10	13	17	17	20	15	12	9	6
p16	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	10	6
p17	7	8	7	10	12	16	17	19	16	13	11	7
p18	7	8	8	10	12	16	17	19	16	13	11	8
p19	8	8	8	10	12	16	17	19	17	14	12	8
p20	9	9	9	10	12	15	17	18	17	15	13	10
p21	9	9	9	10	12	14	16	18	18	15	14	11
p22	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p23	6	7	7	9	12	16	17	19	15	12	10	6
p24	6	7	7	9	12	16	16	19	16	12	10	7
p25	7	7	7	9	12	15	16	18	16	13	11	7
p26	7	7	7	9	11	15	16	18	16	13	11	8
p27	7	8	8	8	11	14	15	17	16	13	12	9
p28	8	8	8	8	10	13	15	16	16	14	12	9
p29	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p30	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	6
p31	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	7
p32	7	7	7	9	11	15	16	18	16	12	10	7
p33	7	7	7	9	11	14	16	18	16	13	11	7
p34	7	7	7	8	10	13	15	17	16	13	11	8
p35	8	8	8	8	10	12	14	16	16	14	12	9

Tabel F.14 Vochtgehalteverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p2	0,43	0,43	0,40	0,28	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,43	0,43
p3	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,47	0,48	0,49
p4	0,49	0,49	0,47	0,38	0,35	0,38	0,37	0,36	0,38	0,47	0,49	0,49
p5	0,49	0,49	0,48	0,40	0,36	0,38	0,38	0,36	0,38	0,47	0,49	0,49
p6	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,39	0,41	0,39	0,40	0,47	0,49	0,49
p7	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,43	0,45	0,43	0,43	0,48	0,49	0,49
p8	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p9	0,43	0,43	0,41	0,28	0,27	0,33	0,28	0,28	0,33	0,42	0,43	0,43
p10	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,47	0,48	0,49
p11	0,49	0,49	0,47	0,38	0,36	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p12	0,49	0,49	0,48	0,40	0,37	0,38	0,38	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p13	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,40	0,42	0,39	0,41	0,47	0,49	0,49
p14	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,44	0,46	0,44	0,45	0,48	0,49	0,49
p15	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p16	0,43	0,43	0,41	0,28	0,27	0,33	0,28	0,28	0,33	0,42	0,43	0,43
p17	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,47	0,49	0,49
p18	0,49	0,49	0,47	0,38	0,36	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p19	0,49	0,49	0,48	0,40	0,37	0,38	0,38	0,36	0,39	0,48	0,49	0,49
p20	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,40	0,42	0,39	0,41	0,47	0,49	0,49
p21	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,45	0,46	0,45	0,45	0,48	0,49	0,49
p22	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,33	0,42	0,42	0,43
p23	0,43	0,43	0,41	0,28	0,26	0,33	0,29	0,28	0,34	0,42	0,43	0,43
p24	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p25	0,49	0,49	0,47	0,38	0,35	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p26	0,49	0,49	0,48	0,40	0,37	0,38	0,38	0,36	0,39	0,48	0,49	0,49
p27	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,40	0,42	0,40	0,41	0,48	0,49	0,49
p28	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,45	0,46	0,45	0,45	0,48	0,49	0,49
p29	0,43	0,43	0,40	0,27	0,26	0,32	0,28	0,28	0,34	0,42	0,42	0,43
p30	0,43	0,43	0,41	0,28	0,26	0,33	0,29	0,28	0,34	0,42	0,43	0,43
p31	0,49	0,49	0,46	0,36	0,35	0,38	0,36	0,35	0,38	0,48	0,49	0,49
p32	0,49	0,49	0,47	0,38	0,35	0,38	0,37	0,36	0,38	0,48	0,49	0,49
p33	0,49	0,49	0,48	0,40	0,37	0,38	0,38	0,36	0,39	0,48	0,49	0,49
p34	0,49	0,49	0,49	0,46	0,41	0,40	0,42	0,40	0,42	0,48	0,49	0,49
p35	0,49	0,49	0,49	0,49	0,46	0,45	0,46	0,45	0,45	0,48	0,49	0,49

Tabel F.15 Temperatuurverloop rekenpunten profiel 8 met leidingen.

punt	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
p1	7	7	7	11	14	18	18	20	16	12	10	6
p2	8	8	8	11	14	18	18	21	17	13	11	7
p3	8	9	9	11	14	18	18	21	17	14	12	8
p4	9	10	10	12	14	18	19	21	18	15	13	9
p5	10	10	10	12	15	18	19	21	19	16	14	11
p6	12	12	12	14	16	19	20	22	20	18	16	13
p7	15	15	15	15	17	20	21	23	22	20	18	16
p8	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	9	6
p9	7	8	8	10	13	17	17	20	16	12	10	7
p10	8	8	8	10	13	17	17	20	16	13	11	8
p11	8	9	9	11	13	17	17	20	17	14	12	8
p12	9	9	9	11	13	17	18	20	17	14	12	9
p13	10	10	10	11	14	16	18	19	18	16	14	11
p14	12	12	12	12	14	16	18	19	19	17	15	13
p15	6	7	7	10	13	17	17	20	15	12	9	6
p16	7	7	7	10	13	17	17	20	16	12	10	6
p17	7	8	8	10	13	16	17	19	16	13	11	7
p18	8	8	8	10	13	16	17	19	16	13	11	8
p19	8	8	8	10	12	16	17	19	16	14	12	8
p20	9	9	9	10	12	15	17	18	17	15	13	10
p21	10	10	10	11	12	15	16	18	17	15	14	11
p22	6	7	7	10	13	17	17	20	15	11	9	6
p23	6	7	7	10	12	16	17	19	15	12	10	6
p24	7	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	7
p25	7	7	7	9	12	15	16	18	15	12	11	7
p26	7	8	8	9	12	15	16	18	16	13	11	8
p27	8	8	8	9	11	14	15	17	16	13	12	9
p28	9	8	8	9	11	13	15	16	16	14	12	10
p29	6	7	7	10	13	17	17	19	15	11	9	6
p30	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	9	6
p31	6	7	7	9	12	16	16	19	15	12	10	7
p32	7	7	7	9	12	15	16	18	15	12	10	7
p33	7	7	7	9	11	15	16	18	15	13	11	7
p34	8	8	8	9	11	13	15	17	15	13	11	8
p35	8	8	8	8	10	12	14	16	15	13	12	9

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl