

Klimaets effekt på avløpsnettets funksjon og fremtidige klimaendringers forventede påvirkning

Amalie Blaser-Erke

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Sveinung Sægrov, IBM

Medveileder: Stian Bruaset, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Oppgavetekst

Det er ventet at klimaendringer vil føre til en rekke endrede forutsetninger for VA-ledningsnettene. EU-prosjektet PREPARED utførte en overfladisk analyse av hva man kan forvente seg av endrede påvirkninger fra et endret klima. Disse inkluderer temperaturendringer, mer vann, mindre vann, endrede frost- og tine sykluser, mer ekstreme værhendelser etc. Disse vil i ulik grad kunne påvirke vann- og avløpsnettene.

Oppgaven tar for seg å vurdere hva av klimaendringer som potensielt kan påvirke avløpsnettets funksjon. Dette baserer seg på en litteraturstudie hvor effekten av nedbør, temperatur endringer etc. vurderes. På bakgrunn av litteratur studien skal det utføres en analyse av driftsdata fra 9 norske kommuner. I dataanalysen skal det utføres en kvantitativ korrelasjonsanalyse mellom driftsdata og relevant historisk klimadata. Om det viser seg at det er korrelasjon mellom historisk klimadata og driftsdata skal det utføres en fremtidsanalyse hvor effekten av et endret klima kvantifiseres.

Spesifisert oppgave:

1. Litteraturstudie om klima i Norge de neste 50 årene og hvordan dette kan påvirke avløpsnettene.
2. Innsamling, bearbeiding og klargjøring av driftsdata fra 9 norske kommuner og av klimadata fra de samme byene.
3. Utføre en korrelasjonsanalyse basert på dataen hentet i punkt 2 og studien utført i punkt 1.
4. Utføre en fremtidsanalyse basert på korrelasjon funnet i punkt 3, hvor man ser på effekten av et endret klima på avløpsledningene 50 år inn i framtiden.

Sammendrag

Funksjonsevnen til avløpssystemet blir i stor grad påvirket av tilstoppinger i ledningene da de reduserer evnen til å transportere avløpsvann. Blokkeringer kan oppstå på grunn av ulike årsaker, men i denne oppgaven har klimatiske faktorer påvirkning på tilstoppinger vært i fokus. I framtiden er det estimert en temperatur- og nedbørsøkning i Norge som blant annet vil påvirke frostlaster, tine- og fryseprosesser, grunnvannstand og mer. Hvordan temperatur og nedbør påvirker blokkeringer og hvordan blokkeringsraten i framtiden vil forandre seg har blitt diskutert i denne oppgaven.

Blokkeringer i 9 norske kommuner har blitt analysert for å finne sammenhenger mellom blokkeringsraten og temperatur, og blokkeringsraten og nedbør. Blokkeringsraten har blitt plottet på ulike måter mot temperatur og nedbør for å finne lineære korrelasjoner. Det har så blitt gjennomført en lineær korrelasjonsanalyse med hypotesetesting for å kvantifisere usikkerheten i modellene. Alle modellene brukt i denne analysen har sikkerhet på minimum 95%.

Litteraturstudiet og resultatene fra analysen indikerer at temperatur og nedbør påvirker blokkeringsraten. For temperaturer rundt 0°C er blokkeringsraten høyest for fellesledninger. Resultatene viser at snøsmelting kan være en av årsakene til den økte raten. For spillvannsledninger er denne trenden ikke like tydelig da overvann og smeltevann kun vil tilføres ledningen ved innlekking. For nedbør er det mulig å observere en økt rate for nedbørsverdier over 20 mm. Større mengder overvann vil kunne dra med seg flere partikler og annet avfall som kan føre til økt sannsynlighet for blokkeringer i avløpsledningen. Men siden antall dager med mye nedbør er få vil det ikke påvirke blokkeringsraten i veldig stor grad.

Ved å gjennomføre en framtidssanalyse kunne det fastslås at en temperaturøkning vil kunne føre til redusert antall blokkeringer i framtiden. For spillvannsledninger vil en reduksjon på 1,56%, 2,30% og 3,61% for utslippsscenarioene RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5 kunne forventes. For fellesledninger vil reduksjonen være større med 3,53%, 5,32% og 8,76% for de ulike scenarioene. Den forventede nedbørsøkningen vil kunne føre til en økning i antall blokkeringer på omtrent 0,5% for utslippsscenario RCP4.5 og RCP8.5.

Det er flere faktorer som vil spille inn på blokkeringsraten som ikke har blitt inkludert i analysen. Avløpsvannets sammensetning påvirker blokkeringer i stor grad. Fett og hygieneartikler kan føre til kapasitetsforringelser og stopp i deler av ledningen, noe som har blitt mer og mer vanlig i følge litteratur og flere avisartikler. Også vedlikehold i form av for eksempel spyling kan forbedre avløpsnettets funksjonsevne og redusere sannsynligheten for

blokkeringer. Ved å inkludere framtidige mulige endringer i faktorene som kan påvirke blokkeringsraten vil en mulig endring i blokkeringer kunne estimeres. Vurderes kun temperatur- og nedbørsendringene vil en reduksjon i fornyelsesbehovet på 2% for spillvannsledninger, 5% for fellesledninger og 8,5% for betongledninger kunne forventes i 2070. For overvannsledninger har det vært for få registrerte blokkeringer for å si noe om framtidige endringer.

Abstract

The function of the sewer system is affected by blockages in the pipes as they reduce the ability to transport wastewater. Blockage may occur due to different causes, but in this thesis the climatic factors effect on the sewer system has been analyzed. In the future a temperature and precipitation increase in Norway is estimated to affect frost loads, thaw and freezer processes, groundwater levels and more. How temperature and precipitation affect blockages and how the blockage rate will change in the future because of the increase has been discussed in this task.

Blockages in 9 Norwegian municipalities have been analyzed to find the relationship between the blockage rate, the temperature and the precipitation. The rate has been plotted in various ways against temperature and precipitation to find linear correlations. A linear correlation analysis with hypothesis testing was then conducted to quantify the uncertainty in the models. All models used in this analysis have a minimum of 95% confidence.

The literature study conducted in this assignment and the results from the analysis indicate that temperature and precipitation affect the blockage rate. For combined pipes, the blockage rate is highest for temperatures around 0°C. The results show that snow melting can be one of the reasons for the increased blockage rate. For wastewater pipes, this trend is not as clear because there will be no surface water in the pipe, except of leakage into it if it is cracked. For precipitation, it is possible to observe an increased rate of precipitation values above 20 mm. Larger amounts of stormwater can carry more particles and other waste that can lead to increased likelihood of blockages in the drainage system. But since the number of days with a high rainfall is few, it will not really affect the block rate.

By conducting a future analysis, it can be established that a temperature increase could lead to a reduced number of blockages in the future. For waste water pipelines, a reduction of 1.56%, 2.30% and 3.61% for the RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 emission scenarios could be expected. For combines pipes, the reduction will be greater with 3.53%, 5.32% and 8.76% for the various scenarios. The expected precipitation increase could lead to an increase in the number of blockages of about 0.5% for emission scenario RCP4.5 and RCP8.5. The increase in precipitation according to the climate forecasts could lead to an increase in the number of blockages of 0.5% for the emission scenario RCP4.5 and RCP8.5.

There are several factors that will impact blockages that has not been included in this analysis. The waste water composition affects blockages to a large extent. Fat and hygiene items can lead to capacity deterioration and blockage in some parts of the pipes, which has become more and more common according to literature and newspaper articles. In addition, how the

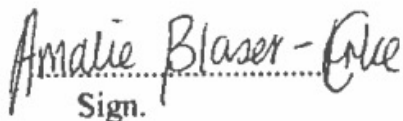
system is maintained affect the possibility of blockage. By increasing the maintenance, for example flushing, one can improve the functioning of the drainage network and reduce the likelihood of blockages. Considering only temperature and precipitation changes, a reduction in renewal requirement of 2% for wastewater pipes, 5% for combined pipes and 8.5% for concrete pipelines could be expected. For stormwater pipes, there have been few registered blockages, but the need for renewal will most likely be reduced.

Forord

Denne masteroppgaven er en del av masterstudiet Bygg- og miljøteknikk på NTNU med spesialisering innen vann- og avløpsteknikk. Oppgaven utgjør innleveringen i faget TVM4905 VA-Teknikk og tilsvarer 30 studiepoeng. Sveinung Sægrov og doktorgradsstipendiat Stian Bruaset har vært veiledere for denne oppgaven våren 2018.

Jeg ønsker spesielt å takke Stian Bruaset for god oppfølging og engasjement for oppgaven. Jeg vil også takk Morten Johnsen fra Trondheim kommune og Bjørn Rosseland fra Oslo kommune for gode svar på spørsmål, og følgende kommuner for å ha stilt data til disposisjon:

- Trondheim Kommune
- Oslo Kommune
- Bærum Kommune
- Drammen Kommune
- Tromsø Kommune
- Stavanger Kommune
- Sandnes Kommune
- Bergen Kommune
- Fredrikstad Kommune
- Kristiansand Kommune



Amalie Blaser-Erke
Sign.

Amalie Blaser-Erke
11. juni 2018

Innholdsfortegnelse

Oppgavetekst	I
Sammendrag	III
Abstract	V
Forord	VII
Innholdsfortegnelse	IX
Tabeller	XI
Figurer	XIII
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	1
1.2 Problembeskrivelse	1
1.3 Målbeskrivelse.....	2
1.4 Disposisjon	2
2. Litteraturstudie	3
2.1 Blokkeringer i avløpsledninger	3
2.1.1 Akutt blokkering	3
2.1.2 Kronisk blokkering	6
2.2 Klima og klimaendringer	9
2.2.2 Temperatur.....	10
2.2.3 Nedbør.....	10
3. Metode	13
3.1 Forberedelser og plotting av blokkeringsdata	15
3.2 Analyse av korrelasjonen mellom blokkeringer og temperatur	15
3.3 Forberedelse av data for forventet temperaturøkning	18
3.4 Analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av temperaturøkning	20
3.5 Analyse av korrelasjonen mellom blokkeringer og nedbørsmengde per døgn	22
3.6 Forberedelse av data for forventet nedbørs økning	23
3.7 Analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av nedbørsøkning.....	23
3.8 Analyse av multi-korrelasjonen mellom blokkeringer og nedbørsmengde per døgn og temperatur	26
4. Resultater	27
4.1 Dataanalyse.....	27
4.2 Blokkeringsraten på grunn av ikke-klimatiske årsaker.....	28
4.2.1 Temperatur.....	29

4.2.2 Nedbør	29
4.3 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og temperatur	30
4.3.1 Overvanns-, spillvanns- og fellesledninger samlet	30
4.3.2 Spillvannsledninger	33
4.3.3 Overvannsledninger (OV)	34
4.3.4 Fellesledninger (AF)	34
4.3.5 Betongledninger	36
4.3.6 Plastledninger	37
4.4 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og ukentlig gjennomsnittlig temperatur	37
4.4.1 Overvanns-, spillvanns- og fellesledninger samlet	37
4.4.2 Spillvannsledninger (SP)	38
4.4.3 Overvannsledninger (OV)	40
4.4.4 Fellesledninger (AF)	40
4.4.5 Betongledninger	41
4.4.6 Plastledninger	42
4.5 Framtidig antall blokkeringer på grunn av temperaturøkning	42
4.6 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og nedbør	44
4.6.1 Overvannsledninger (OV) og fellesledninger (AF) samlet	44
4.6.2 Overvannsledninger	46
4.6.3 Fellesledninger	47
4.6.4 Betong- og plastledninger	48
4.7 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og akkumulert nedbør 3 dager før	48
4.7.1 Overvannsledninger (OV) og fellesledninger (AF) samlet	48
4.7.2 Overvannsledninger (OV)	49
4.7.3 Fellesledninger (AF)	50
4.8 Framtidig blokkeringsrate på grunn av nedbørs økning	50
4.9 Multi-korrelasjon mellom blokkeringer, temperatur og nedbør	51
4.10 Oppsummering resultater	53
5. Diskusjon	55
5.1 Observerte forhold	55
5.1.1 Temperatur	55
5.1.2 Nedbør	57
5.1.3 Avløpsvannets sammensetning	58
5.2 Blokkeringer i 2070	58
5.3 Feilkilder og usikkerheter	60
5.4 Videre arbeid	61
6. Konklusjon	63
Kilder	67
Vedlegg 1	71
Vedlegg 2 - Grafer	75
Vedlegg 3 - Intervju kommuner	91

Tabeller

Tabell 1: Oversikt over type blokkeringer i de ulike kommunene.	27
Tabell 2: Antall blokkeringer og prosentvis andel av totalt antall blokkeringer som kunne kobles opp mot materiale for de ulike materialene som representerer en større del av ledningsnettet.	28
Tabell 3: Antall blokkeringer per ledningslengde (km) for de ulike kommunene og gjennomsnittet for hvert år og for hver kommune i perioden 2000-2015.	28
Tabell 4: Antall blokkeringer per måned sortert etter antall blokkeringer. Prosentandel av total antall blokkeringer for hver måned og gjennomsnittlig antall blokkeringer for den gitte måneden.	29
Tabell 5: Antall blokkeringer fordelt på de ulike månedene for temperaturer mellom -2°C og 7°C	31
Tabell 6: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for temperaturer -13°C og 0°C og mellom 0°C og 22°C	33
Tabell 7: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for spillvannsledninger (SP)	34
Tabell 8: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for fellesledninger (AF)	35
Tabell 9: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for betongledninger	37
Tabell 10: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.	38
Tabell 11: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur, SP.	39
Tabell 12: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur, AF	41
Tabell 13: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur, betongledninger	42
Tabell 14: Forventet årlig og sesongenes temperaturøkning i grader C for de tre utslippstilfellene. Tallene baserer seg på Hanssen-Bauer et al. (2015)	42
Tabell 15: Framtidig prosentvis endring på grunn av temperaturøkning for de ulike utslippsscenarioene.	43
Tabell 16: Forskjell i antall blokkeringer og prosentvis endring for temperaturer over og temperaturer under 0° for fellesledninger. Antall blokkeringer bli sammenlignet med totalt antall observerte blokkeringer i observasjonsperioden.	44

Tabell 17: Vektet gjentaksintervall for nedbør	44
Tabell 18: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV og AF mot nedbør.	46
Tabell 19: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV mot nedbør.	47
Tabell 20: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for AF mot nedbør.	48
Tabell 21: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV og AF mot 3 dager akkumulert nedbør	49
Tabell 22: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV mot 3 dager akkumulert nedbør	49
Tabell 23: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for AF mot 3 dager akkumulert nedbør	50
Tabell 24: Framtidig forskjell i antall blokkeringer på grunn av nedbørsøkning. Sammenlignet med totalt historisk antall blokkeringer og historisk antall blokkeringer på grunn av nedbør.	51
Tabell 25: Oppsummering av resultater for hvilke ledningstyper som ga gode nok modeller når blokkeringsraten plottes mot daglig og ukentlig gjennomsnittlig temperatur.	54
Tabell 26: Oppsummering resultater over framtidige forventet endring (%) for ulike ledningstyper.....	54
Tabell 27: Oppsummering av resultater for hvilke ledningstyper som ga gode nok modeller når blokkeringsraten plottes mot daglig og 3 dager akkumulert nedbør.....	54
Tabell 28: Svar på intervju spørsmål fra Trondheim og Oslo kommune.	91

Figurer

Figur 1: Installasjonsår alle materialer samlet, plast og betong. Fra analysen av 8 kommuner. 4	
Figur 2: Oversikt over blokkeringer i Trondheim (Rosseland, 2018)	9
Figur 3: Oversikt over metode som ble brukt til å finne den potensielle innvirkningen av framtidig nedbørs- og temperaturendringen på blokkeringsraten.....	14
Figur 4:Oversikt over metoden som ble brukt for forberedelse og plotting av blokkeringsdata.	15
Figur 5: Oversikt over metode brukt til å kunne utføre analyse av korrelasjonen mellom blokkeringer og temperatur.....	16
Figur 6: Oversikt over metode brukt for forberedelse av data for forventet temperaturøkning.	18
Figur 7: Antall blokkeringer, antall dager observert og framtidig antall dager plottet mot temperatur.	20
Figur 8: Oversikt over metode for analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av temperaturøkning.....	20
Figur 9: Totalnedbør plottet mot nedbørsmengde per døgn	22
Figur 10: Oversikt over metode for analyse av korrelasjon mellom blokkeringer og nedbørsmengde per døgn.....	22
Figur 11: Oversikt over metode brukt til å kunne utføre analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av nedbørsøkning.....	24
Figur 12: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur.....	30
Figur 13: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet.	31
Figur 14: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for spillvannsledninger (SP)	33
Figur 15: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for spillvannsledninger (SP)	33
Figur 16: Blokkeringsrate og lineær trendlinje mot temperatur for fellesledninger (AF)	34
Figur 17: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for fellesledninger (AF)	35
Figur 18: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for betongledninger ..	36
Figur 19: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for betongledninger.....	36

Figur 20: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur	37
Figur 21: Blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet	38
Figur 22: Blokkeringsrate for SP og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.	39
Figur 23: Blokkeringsrate for SP mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet	39
Figur 24: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.	40
Figur 25: Blokkeringsrate for AF mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet	40
Figur 26: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.	41
Figur 27: Blokkeringsrate for betongledninger mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet.....	41
Figur 28: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall.....	44
Figur 29: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	45
Figur 30: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.....	45
Figur 31: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall.....	46
Figur 32: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall	47
Figur 33: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.	47
Figur 34: Blokkeringsrate for OV og AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års og 5-års gjentaksintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	48
Figur 35: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	49

Figur 36: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentaksintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	50
Figur 37: Blokkeringsrate mot nedbør for ulike temperaturer.....	51
Figur 38: Blokkeringsrate mot temperatur for ulike nedbørsmengder.	52
Figur 39: Blokkeringsrate plottet mot nedbør for ulike temperaturer, 5 nedbørsmengder summert.....	52
Figur 40: Blokkeringsrate plottet mot temperatur for ulike nedbørsmengder, 5 nedbørsmengder summert.....	53
Figur 41: Blokkeringsrate mot temperatur for dager med 0 mm nedbør.	53
Figur 42: Oversiktsbilde over området rundt ledningen i Thoulowsbakken hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.	71
Figur 43: Oversiktsbilde over området rundt ledningen i Roald Amundsens vei hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.	71
Figur 44: Oversiktsbilde over området rundt ledningen på Sluppen hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.	72
Figur 45: Oversiktsbilde over Tunga hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer på en ledning. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.....	72
Figur 46: Oversiktsbilde over området rundt ledningen i Kongsvegen hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.	73
Figur 47: Oversiktsbilde over Heimdal hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer på en ledning. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.....	73
Figur 48: Oversiktsbilde over området rundt Lykkmarka hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer på en ledning. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.....	74
Figur 49: Oversiktsbilde over området rundt ledningen under Innherredsveien hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.	74
Figur 50: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for overvannsledninger (OV)	75
Figur 51: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for overvannsledninger (OV).....	75
Figur 52: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for plastledninger.....	76
Figur 53: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for plastledninger	76

Figur 54: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur for overvannsledninger (OV).....	77
Figur 55: Blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for overvannsledninger (OV).....	77
Figur 56: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur for plastledninger	78
Figur 57: Blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for plastledninger.....	78
Figur 58: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	79
Figur 59: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	79
Figur 60: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	80
Figur 61: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	80
Figur 62: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	81
Figur 63: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.....	81
Figur 64: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	81
Figur 65: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	82
Figur 66: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	82
Figur 67: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	82
Figur 68: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall.....	83

Figur 69: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	83
Figur 70: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	83
Figur 71: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.....	84
Figur 72: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	84
Figur 73: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall.....	84
Figur 74: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	85
Figur 75: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	85
Figur 76: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.....	85
Figur 77: Blokkeringsrate for AF og OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	86
Figur 78: Blokkeringsrate for AF og OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall.....	86
Figur 79: Blokkeringsrate for AF og OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.....	86
Figur 80: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	87
Figur 81: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall.....	87
Figur 82: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	88
Figur 83: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.....	88
Figur 84: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall.....	88

Figur 85: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall.....	89
Figur 86: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.....	89
Figur 87: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.....	89

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

I følge Bernhus *et al.* (2007) forteller avløpsnettets funksjonsevne noe om hvor godt systemet er i stand til å transportere avløpsvann. Forurenset vann skal transporteres til et rensesanlegg og utslippspunkt på en hygienisk måte samtidig som regn- og smeltevann skal borttransporteres (Berg, 1988). Avløpsnettets består derfor av fellesledninger, spillvannsledninger og overvannsledninger som skal utføre oppgaven. Dimensjonering av systemet er avhengig av at maksimal vannføring blir transportert sikkert bort, samtidig som at rørene regelmessig renses (Berg, 1988).

Tilstanden til vann- og avløpsnettets for flere kommuner i Norge blir i dag vurdert gjennom BedreVA rapporten i regi av Norsk Vann (Rostad, 2016). Antall blokkeringer per år er en av parameterne for å vurdere avløpsnettets tilstand. Også blokkeringer per ledningslengde kan brukes som en indikator for tilstanden, som blant annet blir brukt av KOSTRA (2017). Blokkeringer eller kapasitetsforringelser kan føre til at avløpsnettets funksjoner ikke lenger er tilstrekkelig og kan føre til uønskede helsemessige og økonomiske konsekvenser.

Tilstoppinger i avløpsnettets kan oppstå av ulike grunner. Blant annet rørbrudd på grunn av endringer i mekaniske spenninger kan føre til blokkeringer. Disse er stort sett de samme for vann- og avløpsledninger, og har blitt beskrevet i prosjektoppgaven *Temperaturendringers effekt og påvirkning på drikkevannsnettets pålitelighet* (Blaser-Erke, 2017). Det ble i oppgaven funnet en korrelasjon mellom bruddraten og temperatur, hvor bruddraten øker med avtagende temperatur. En grunn til dette er frostlastene som fører til mekanisk nedbrytning av rørene. Også bevegelser i grunnen på grunn av fryse- og tinesykluser kan øke bruddraten. Denne sammenhengen skal også brukes i denne oppgaven når blokkeringer i avløpsledninger skal vurderes.

1.2 Problembeskrivelse

Klimaendringene verden står ovenfor kan endre den hydrologiske syklusen og dermed påvirke blant annet nedbør, temperatur og avrenning. Bruaset og Sægrov (2017) har i sine undersøkelser vist at bruddraten for drikkevannsledninger i 2070 kan reduseres med 5% da gjennomsnittstemperaturen vil kunne øke. Det vil kunne påvirke bruddraten i drikkevannssystemet betraktelig. I denne masteroppgaven ønskes det å sjekke om det finnes en lignende sammenheng for blokkeringsraten i avløpssystemet og slike klimaparametere. Hvordan vil da framtidige klimaendringer spille inn?

1.3 Målbeskrivelse

Målet for denne oppgaven er å se på framtidige klimaendringer og dermed vurdere hvordan de vil kunne endre faren for tilstopninger i avløpsnett. Før det er mulig må følgende hypoteser testes:

1. Blokkeringer og blokkeringsraten korrelerer med temperatur.
2. Blokkeringer og blokkeringsraten korrelerer med nedbørsmengde.

Kan hypotesene over bekrefte vil en lineær regresjonsmodell for korrelasjonene kunne lages. Da vil effekten av temperatur og nedbør på blokkeringsraten kunne kvantifiseres. Deretter ønskes det å kvantifisere innflytelsen av klimaendringer på framtidig blokkeringsrate. Da vil den lineære regresjonsmodellen brukes med framtidige verdier.

I denne oppgaven blir det kun sett på nedbør og temperatur opp mot blokkeringer. Det blir ikke tatt hensyn til topografi som kan resultere i at det er mange trender som ikke oppdaget. Men siden denne analysen inneholder mye data, 12151 blokkeringer for overvanns-, spillvanns- og fellesledninger, vil man allikevel kunne si noe om blokkeringer.

1.4 Disposisjon

Opgaven er delt inn i tre deler. Den første delen omhandler en litteraturstudie som tar for seg blokkeringer, hvordan blokkeringer kan oppstå og klimafaktorer som kan påvirke blokkeringene. Del to omfatter analysen av blokkeringsdata fra 9 kommuner. Metodene for analysen beskrives og resultatet framlegges. Den siste delen omfatter diskusjon hvor litteraturen fra del 1 og resultatene fra del 2 blir satt opp mot hverandre og drøftet.

2. Litteraturstudie

2.1 Blokkeringer i avløpsledninger

Blokkeringer i avløpsnettene kan oppstå i alle ledninger. Hendelsen kan enten være akutt eller kronisk. Den førstnevnte fører til at strømmingen stopper opp helt i en kort periode og kan oppstå når for eksempel et rør kollapser. Den kroniske hendelsen oppstår ved at sedimenter bygger seg opp over en lenger tidsperiode. Strømmingen vil da delvis hindres, men den stopper ikke helt opp (Ugarelli *et al.*, 2010b). I følge Ugarelli *et al.* (2010b) er de kritiske kandidatene for blokkering rør med mindre diameter, høy alder, i materiale betong og de med svak helning. Det er viktig å nevne at det er vanskelig å si noe om hvilken av disse som påvirker blokkeringen mest. Videre skal de ulike prosessene som kan bidra til blokkeringer gjennomgås.

2.1.1 Akutt blokkering

Proessen for at et rør kollapser kan i følge WRc (2001) deles inn i tre steg:

- Steg 1: Innledende defekt
- Steg 2: Nedbrytning
- Steg 3: Kollaps

Det første steget innebærer at røret har en defekt som øker sannsynligheten for at røret blir utsatt for nedbrytning. Defekten eller skaden kan ha oppstått så tidlig som under produksjon av røret eller i installasjonsfasen. Sprekker, lekkende fuger eller andre skader er noen eksempler på defekter (Ana *et al.*, 2009). Den andre fasen kan involvere flere ulike nedbrytningsmekanismer som resulterer i svekkelse av rørets struktur og dermed styrke. Noen av disse mekanismene vil gjennomgås senere i oppgaven. Selve kollapset er ofte utløst av en tilfeldig hendelse som ikke behøver å ha med nedbrytningen å gjøre, noe som gjør det vanskelig å forutsi når et kollaps vil kunne inntreffe (Davies *et al.*, 2001). I følge Newport (1981) (sitert av Rajani og Kleiner (2001)) vil nedbrytningen av et rør være større om sommeren på grunn av høyere temperaturer og andre forhold. Dette beskriver steg 2 godt. Når vinteren inntreffer vil frostlaster kunne føre til kollaps av røret. En kollaps kan sammenlignes med et brudd i en drikkevannsledning. Videre skal de ulike stegene gjennomgås.

2.1.1.1 Innledende defekter

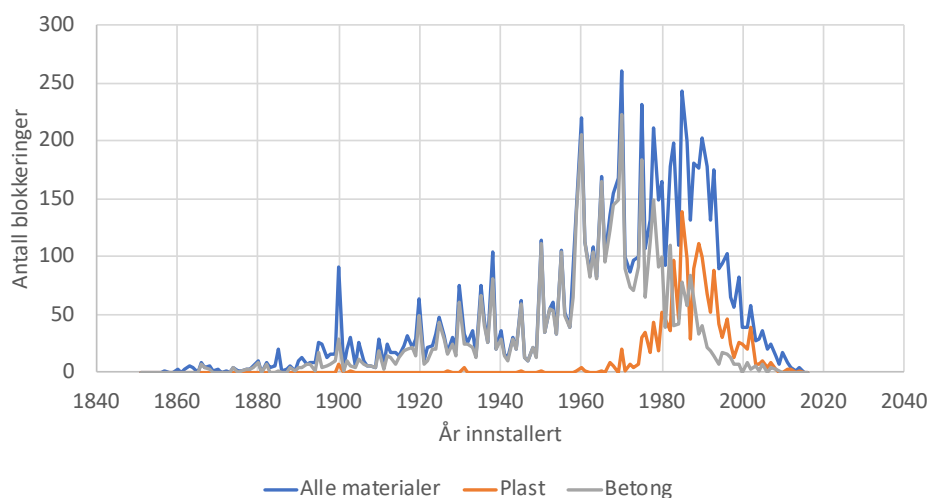
De innledende defektene kan være mange, men et hovedtrekk er at det blir mer gunstig for nedbrytning. I følge Sægrov (1992) er det tre forhold som kan forårsake skade på betongavløpsledninger; materialkvalitet, utførelse og anvendelsesområde. Materialkvalitet og feil bruk av materialet kan påvirke hvordan materialet reagerer på spenninger og kan føre til at

røret sprekker opp (Sægrov, 1992). Installasjonsperioden kan si mye om materialkvaliteten og forholdene rundt røret. For betongrør er 1948 et markant skille hvor grøftene ble dypere og bredere slik at belastningen på røret ble mindre. Denne endringen resulterte i at ledninger installert før 1948 var mer utsatte for blokkeringer enn de installert etter (Ugarelli *et al.*, 2009). Rundt 1964 ble man oppmerksom på rørets styrke, jordens krefter på røret og gummipakninger ble innført. Massekompresjon for å redusere vekten på røret var en viktig endring i nedleggelsen av rør. Også dette forbedret forholdene for rørene under bakkenivå. Rørene installert etter denne perioden kan derfor oppleve færre blokkeringer totalt (Ugarelli *et al.*, 2009). Dette kan også observeres i Figur 1 som viser installasjonsår for registrerte blokkeringer for de 9 kommunene. For betong ser man en reduksjon i blokkeringer for rør installert etter omtrent 1970.

Etter 1985 ser man en lignende trend for plastrør. Plastrør ble først tatt i bruk på slutten av 1950 årene. Ledninger i termoplast har blitt mer motstandsdyktige. De har blant annet blitt mindre sprø (Sægrov, 2013). Sprø materialer er mer utsatte for sprekkvekst enn duktile materialer. Selv om PVC anses å være viskoelastisk kan materialet ved lave temperaturer oppføre seg sprøtt. Dette gjelder særlig for eldre PVC rør da PVC over tid vil få en redusert slagfasthet (PipeLife, 2007).

I dag er fokuset på hvordan rørene legges i grunnen stort. I en studie gjennomført i norske og svenske kommuner svarte 90% at deres egen kommune legger stort vekt på installasjon av rørene (Fossberg, Rydningen og Merschbrock, 2017).

En annen årsak til innledende defekter kan være inntrenging av røtter i avløpsledninger. Ved at røttene vokser opp på avløpsledningene vil et trykk skapes og sprekker vil kunne oppstå. (Davies *et al.*, 2001).



Figur 1: Installasjonsår alle materialer samlet, plast og betong. Fra analysen av 8 kommuner.

2.1.1.2 Nedbrytning

Strukturell nedbrytningen av betong- og plastrør er svært varierende og kan oppstå på grunn av kjemisk og mekanisk påvirkning. En form for kjemisk nedbrytning er korrosjon. Det finnes ulike typer korrosjon på betong, blant annet utvaskingskorrosjon, karbonsyrekorrosjon, ionebyttekorrosjon og sulfidkorrosjon (Sægrov, 2013). Alle disse er med på å svekke strukturen til betongledningen og kan variere avhengig av temperatur, avløpsvannets sammensetning og grunnforhold. Plastledninger er stort sett ikke utsatt for korrosjonsangrep.

Med mekanisk nedbrytning av røret menes utvendig belastning eller slitasje som vil kunne bryte ned rørets struktur. De utvendige belastningene kan komme av tele, fundamentering, anleggsforhold og forhold som forårsaker bevegelser i grunnen (Sægrov, 1992). Ved temperaturer under 0°C kan teleoppbygging resultere i økt belastning på røret i form av frostlaster og dermed være med på å bryte ned røret (Wu *et al.*, 2010; Xu, Qi og Jin, 2010; Jin, 2010). Når det oppstår bevegelse i grunnen kan rørene bli utsatt for en spenningsendring og slitasje ved at deler av røret heves eller senkes i forholdt til resten. Forhold som kan forårsake bevegelse er blant annet fryse- og tineprosesser (Reikvam, 2013; Vevatne og Westskog, 2007). Også endring i grunnvannstanden og vanninnholdet i grunnen kan føre til setninger eller hevelser av jorden rundt røret siden poretrykket i akviferen endres (Galloway, Jones og Ingebritsen, 1999). Spenningsforholdet kan også endres ved at grøftematerialet over tid blir utvasket og slik danner bevegelse i grunnen (Sægrov, 1992). Endring i grunnvannstand vil også kunne føre til økt korrosjon blant annet luftcellekorrosjon (Ugarelli *et al.*, 2010a).

Ved temperaturendringer vil et materiale enten utvide seg eller trekke seg sammen og dermed resultere i en spenningsendring. Er denne endringen for stor vil det kunne redusere rørets opprinnelige styrke noe. Også materialets duktile egenskaper endrer seg med temperaturen. Ved lave temperaturer vil røret kunne oppføre seg mer sprøtt og dermed raskere kunne gå i sprøbrudd. Plastrør har relativt stor temperaturutvidelseskoeffisient (PipeLife, 2007) som betyr at det kan oppstå store spenninger i rørveggen ved temperaturendringer. Betong har en noe mindre utvidelseskoeffisient.

Bunnslitasje i avløpsrør på grunn av sandtransport er utbredt og er en annen form for mekanisk nedbrytning ved at rørveggenes tykkelse blir redusert (Sægrov, 1992). For rette rør er slitasjen tilnærmet uavhengig av vannhastigheten, men ved vinkelendringer eller ved ujevnheter øker slitasjen med økt vannhastighet. PVC-, PEH- og betongrør har tilnærmet lik evne til å motstå slitasje (Schei og Tekle, 1976). Er det stor sannsynlig for at systemet vil bli utsatt for uvanlig stor sandtransport og om vannhastigheten overskrider 6-8 m/s burde noen

forhåndsregler tas i bruk (Schei og Tekle, 1976). Også en økt grunnvannstand vil kunne øke den mekaniske erosjonen. Er rørets struktur redusert vil innlekket vann kunne dra med seg finkornet jordmateriale (Davies *et al.*, 2001).

2.1.1.3 Kollaps

For at en hendelse skal føre til kollaps av et rør som allerede er tilstrekkelig nedbrutt, må hendelsen føre til en tilstrekkelig endring i spenningsforhold. Ulike former for laster kan føre til slike spenningsendringer. Frostlaster er et eksempel på en slike laster. I følge Makar (1999) er frostlaster en faktor som spiller inn på bruddraten i nordisk klima. Pascal Le Gauffre (2013) kom fram til at omtrent halvparten av bruddene som inntraff i Lyon, Frankrike, inntraff i vintermånedene (desember, januar, februar). Også han mente at frostlaster var en viktig bidragsyter. En studie fra 9 norske kommuner viser også at antall brudd øker om vinteren og at frostlaster påvirker bruddraten (Bruaset og Sægrov, 2018). Dette gjelder for drikkevannsledninger.

Andre årsaker til kollaps kan være bevegelser i grunnet som beskrevet under nedbrytningsmekanismer. Er røret tilstrekkelig nedbrutt og en bevegelse fører til en tilstrekkelig spenningsendring kan en kollaps inntreffe.

2.1.2 Kronisk blokkering

Hydraulisk nedbrytning av avløpsledninger blir i følge Tran, Perera og Ng (2010) definert som en kontinuerlig prosess som reduserer den hydrauliske kapasiteten. Tverrsnittet blir redusert og ruheten innvendig øker. Rot-inntrenging, sedimentering, og begroing kan føre til hydraulisk nedbrytning (Tran, Perera og Ng, 2010) og over tid kroniske blokkeringer. Flere kilder (Ugarelli *et al.*, 2010b; Miljø-blad, 2015) mener at selvrensing er en viktig faktor for å unngå blokkeringer i avløpsnett. I denne delen av oppgaven vil derfor ulike faktorer som kan påvirke selvrensingen gjennomgås.

Selv om en ledning i utgangspunktet er dimensjonert slik at kravet for selvrensing er innfridd kan store mengder fett føre til gjentetting (Miljø-blad, 2015). Spillvannssammensetningen vil derfor også bli diskutert her.

2.1.2.1 Selvrensing

For å unngå kroniske hendelser har Miljø-blad (2015) definert tre krav for å sikre mot sedimentering; minimum fall, minimum vannhastighet og minimum skjærspenning som skal oppnås minst en gang om dagen hver dag hele året. Av disse tre kravene er det krav til minimum skjærspenning som er sikrest. Hovedgrunnen til dette er at minimum hastighet ikke

nødvendigvis gir samme skjærspenning overalt. Diameteren langs strekket kan variere og det vil påvirke slepekraften som kan dra partikler med seg (Miljø-blad, 2015).

Det er ulike krav til selvrensing for overvannsledninger, fellesledninger og spillvannsledninger. En grunn til dette kan være at separate og kombinerte systemer har ulike blokkeringsmønstre (Arthur, Crow og Pedezert, 2008). Vannføringen i overvannsledninger og fellesledninger er blant annet avhengig av nedbør og snøsmelting og vannføringen vil derfor variere. Overvannsledninger er ikke nødvendigvis kontinuerlig fylt med vann og er derfor mer utsatt for avleiring. Det er i tillegg mindre vanlig å dimensjonere overvannsledninger for selvrensing. For fellesledninger er kravet for minimum skjærspenning noe høyere enn for spillvannsledninger på grunn av variasjonen i vannføring. For betong- og plastrør er kravene de samme da det i kritiske situasjoner vil være et slamlag som bestemmer ruhetsforholdet i røret. (Miljø-blad, 2015)

2.1.2.2 Spillvannssammensetning

Sammensetningen av avløpsvannet er avhengig av blant annet ledningstype, innlekking og lokasjon. Om ledninger får avløpsvann fra et industriområde eller et lite boligfelt vil gi ulike typer avløpsvann. Den fysiske formen av avløpsvann har ikke blitt utforsket i like stor grad som den kjemiske formen, men den påvirker avløpssystemet i stor grad (Mitchell *et al.*, 2017).

Rundt om i verden har det i de siste årene blitt observert en forandring i spillvannssammensetningen som påvirker blokkeringer i avløpssystemet. Det blir funnet mer syntetisk papir i spillvann som ikke lar seg bryte ned i avløpssystemet. Disse vil kunne danne knuter og etter hvert lange konglomerater som vil gi operasjonelle problemer (Mitchell *et al.*, 2017). Bruken av Wet Wipes er i blant annet i New York, Australia og Berlin et utpreget problem (Flegenheimer, 2015; Radulova, 2015; Mitchell *et al.*, 2017). I kombinasjon med fett og annet avfall kan store blokkeringer oppstå som i London (Keay, 2017). Også i Norge og Sverige er hygieneartikler som tamponger og syntetisk papir et stort problem som ofte blir observert i biofilmlaget i avløpsrørene (Fossberg, Rydningen og Merschbrock, 2017).

I følge en spørreundersøkelse gjennomført i norske og svenske kommuner mente minst 90% at fett og 46% at matvaner er en viktig bidragsyter for biofilmdannelse i avløpsrør (Fossberg, Rydningen og Merschbrock, 2017). Biofilm vil kunne føre til kroniske blokkeringer over tid. I Oslo har kjelleroversvømmelser grunnet kloakkstopp økt de siste årene. I følge Thingnes *et al.* (2017) antyder registreringene i kommunen at fett i systemet er en medvirkende årsak. Både spillvannsledninger og fellesledninger vil kunne påvirkes. I følge Ugarelli *et al.* (2009) ble det registret flest blokkeringer i spillvannsledninger og minst i overvannsledninger i Oslo i

perioden 1991-2006. Da kun spillvannsledninger og fellesledninger påvirkes av spillvannssammensetningen og dermed fett i systemet kan det antas at analysen kan indikere det samme som påstanden til Thingnes *et al.* (2017).

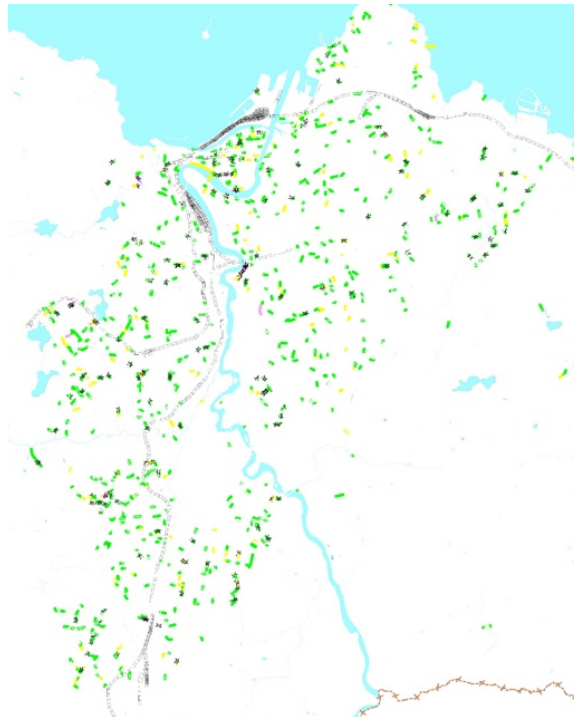
I Norge har man startet to kampanjer (fettvett.no og dovett.no) som skal informere forbrukeren om hva som kan kastes i toalett/vasken. Rundt juletider er det også mulig å observere en økt medieinteresse rundt det å ikke kaste fett i avløpsrør, blant annet på NRK (Haram og Hansen, 2011) og i Aftenposten (Hofshaugen, 2014). Trondheim kommune prøver å informere befolkningen om hva som kan kastes i toalettet ved å merke kumløkk i Trondheim sentrum (Hofstad og Karlsen, 2015). Våren 2018 har også bevisstheten rundt det å kaste Q-tips og annet avfall i toalettet økt gjennom serien ”Planet Plast” vist på nrk.no (Elvsåshagen *et al.*, 2018).

Arthur, Crow og Pedezert (2008) påstår at kombinerte ledninger er mer utsatte for blokkeringer enn spillvannsledninger. En grunn til dette kan være at fellesledninger blir utsatt for de observerte forandringene beskrevet ovenfor i tillegg til sand/grus, søppel og annet fra overvannet. I Oslo er det observert en økende trend i blokkeringer før og etter intense regnskylt og før og under vårrengjøringen som bekrefter påstanden at nedbør kan føre til økt blokkeringsrate (Rosseland, 2018). Dette vil ikke være et tilfelle i ledninger med kun spillvann (hvis ledningen har en god struktur uten innlekking av vann og jordmasser). Også Ugarelli *et al.* (2010b) observerte en sammenheng mellom blokkeringer og fuktigheten i klimaet rundt. Antall blokkeringer var større for de våteste månedene mars, april og mai.

Spillvannssammensetningen kan også påvirke nedbrytningen av røret som over tid kan resultere i kollaps eller hull som kan føre til mer infiltrasjon. Kvaliteten og sammensetningen i avløpsvannet varierer fra sted til sted. Generelt er kommunalt avløpsvann ikke aggressivt for avløpsledninger (Ugarelli *et al.*, 2009; Davies *et al.*, 2001). I noen tilfeller vil biologiske omsetninger i husholdningsspillvann kunne føre til korrosjonsangrep på betongen (Sægrov, 1992). Industriavløp kan potensielt være aggressivt (Davies *et al.* (2001) sitert fra WSA/FWR (1993)) men både i Trondheim og Oslo er det i dag lite industri som kan påvirke avløpsvannet (Johnsen, 2018; Rosseland, 2018).

Figur 2 viser en oversikt over blokkeringene i Trondheim hvor det har oppstått 1-2 (grønn), 2-3 (gul), 3-4 (rosa) og >4 (lilla) blokkeringer. Flertallet av blokkeringene er markert grønne og gule. Noen få er markert rosa. Stort sett virker det som om blokkeringene er jevnt fordelt. Ser man på områdene rundt de rosa/lilla markeringene er det ofte en restaurant i nærheten, se vedlegg 1, eller en endeledning. Men siden det ikke er oppgitt hvilken type ledning det er snakk

om er det vanskelig å si om fett, sediment oppsamling eller kollaps som er årsaken til blokkeringen.



Figur 2: Oversikt over blokkeringer i Trondheim (Rosseland, 2018)

2.2 Klima og klimaendringer

Klimaendringene vil kunne påvirke VA-nettet i Norge i framtiden. Klima i Norge 2100 rapporten (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015) beskriver hvordan klimaet har endret seg i perioden fram til i dag. Samtidig har det blitt gjennomført klimaframskrivninger for å kunne estimere hvordan klimaet vil forandre seg framover.

Med minst 95% sannsynlighet er hovedårsaken til den globale oppvarmingen mellom 1950 og i dag klimagassutslippene fra menneskelig aktivitet (Stocker *et al.*, 2013). FNs klimapanel har derfor laget tre ulike utslippsscenarioer for å inkludere menneskers aktivitet i klimaframskrivninger:

- **RCP8.5** innebærer at utslippene av klimagasser fortsetter å øke helt fram til slutten av dette århundre
- **RCP4.5** innebærer små utslippsendringer fram til 2050 og deretter utslippskutt
- **RCP2.6** innebærer drastiske utslippskutt allerede fra 2020.

På grunn av usikkerheter knyttet til disse scenarioene og utilstrekkelig kunnskap om hvordan den hydrologiske syklusen vil reagere på endringer i klimavariabler, har FNs klimapanel inkludert usikkerhet i form av høy, median og lav klimaframskrivning. Høy representerer 90-persentilen, lav representerer 10-persentilen og medianverdien representerer verdien som deler

utvalget i to. Det vil si at for høy er kun 10% av verdiene høyere, for lav er 90% av verdiene høyere og for median er 50 % høyere.

I denne delen av oppgaven vil de relevante klimaendringene og deres innvirkning på blokkeringer diskuteres.

2.2.2 Temperatur

Mellom 1971 og 2000 har årsmiddeltemperaturen gjennomsnittlig i Norge steget med 1,3 °C. Den største endringen har blitt observert om våren, mens temperaturøkningen har vært lavest om vinteren (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015). Framtidig temperaturøkning i følge klimaframskrivningene for perioden 2070-2100 er vist i Tabell 14. Det beregnes at oppvarmingen vil bli større om vinteren enn om sommeren.

Den forventede temperaturøkningen vil kunne føre til økt korrosjon, økt biologisk aktivitet og dermed nedbrytning av røret. I følge Pomeroy og Pomeroy (1974) kan sulfatkorrosjonen øke med omtrent 7% for hver 1 °C temperaturøkning (Sægrov, 1992). En forverret nedbrytning vil kunne føre til raskere sprekkdannelse slik at infiltrasjonen vil kunne øke.

Økt temperatur om vinteren vil kunne føre til mer variabel temperatur hvor temperaturen oftere vil variere rundt frysepunktet. Dette vil kunne føre til at regn vil kunne falle på frossen grunn. Infiltrasjonen av overflatevann vil da være tilnærmet null som fører til økt avrenning. I tillegg er avløpssystemet mindre tilgjengelig om vinteren på grunn av snø og is som kan blokkere inntakene. Intensiteten til avrenningen vil da kunne bli høyere (Ugarelli *et al.*, 2010a). Vannet som ellers ville ha blitt transportert i et system transporteres nå på overflaten og drar med seg partikler og grus til et åpent inntak. Når vannmengden reduseres vil partiklene kunne sedimentere i ledningene og over tid danne blokkeringer. Ved at temperaturen vil variere mer rundt frysepunktet til det også kunne føre til flere fryse- og tinesykluser om vinteren (Vevatne og Westskog, 2007) som vil kunne føre til konsekvensene beskrevet i 2.1.1.2.

En generell økning i temperatur om vinteren vil kunne føre til færre brudd på ledningen (Bruaset og Sægrov, 2018) da frostlasten vil bli redusert. Men det er også å forvente at det vil inntreffe flere ekstreme klimatiske hendelser i framtiden. Ekstreme kuldeperioder som i 2012 (Stojanovic, 2012) og 2016/2017 ((AS), 2017) i Øst-Europa vil kunne inntreffe oftere og dermed øke frostlastene og den mekaniske nedbrytningen i korte perioder.

2.2.3 Nedbør

I følge Klima i Norge 2100 rapporten (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015) har årlig nedbørsmengde økt gjennomsnittlig over hele landet med 18% siden 1900. Økningen har vært størst om våren

med 27% og minst om sommeren med 12% økning. Det har blitt mer vanlig med moderat til sterke nedbørstilfeller, og disse har inntruffet med høyere frekvens de siste 50 årene. Med økende nedbør og nedbørintensitet har også avrenningen økt. I følge Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015) vil årsnedbøren øke på landsbasis med 8% og 18% for RCP4.5 og RCP8.5. Denne årlige økningen vil kunne føre til økt grunnvannstand i noen områder (Ugarelli *et al.*, 2010a).

Tørke over en lengre periode kan føre til mangel på vann. Wilson, Hisdal og Lawrence (2010) gjennomførte en trendanalyse av den nordlige hemisfæren i perioden 1920-2004. Resultatene antyder at det om sommeren kan bli en lenger periode med lav vannføring på Sørøstlandet. En grunn til dette kan være økning i temperatur som fører til tidligere vårflom og høyere fordampning om sommeren, som kan resultere i lavere grunnvannstand.

Medianframskrivningen på landsbasis tilsier en økning i antall dager med kraftig nedbør på 89% for RCP8.5 og 49% for RCP4.5. Dette er på årsbasis. Ikke bare antall dager med ”kraftig nedbør” vil øke i framtiden, men også intensiteten på de dagene med mest nedbør vil øke med 12 og 19% for RCP4.5 og RCP8.5. Også her indikerer rapporten en økning i alle regioner i alle årstider. Om sommeren er økningen noe større. Som nevnt tidligere har en studie fra Oslo vist at antall blokkeringer øker under og etter store regnskyll (Rosseland, 2018). Økt nedbørsmengder og intensitet vil derfor kunne føre til en økning i blokkeringer.

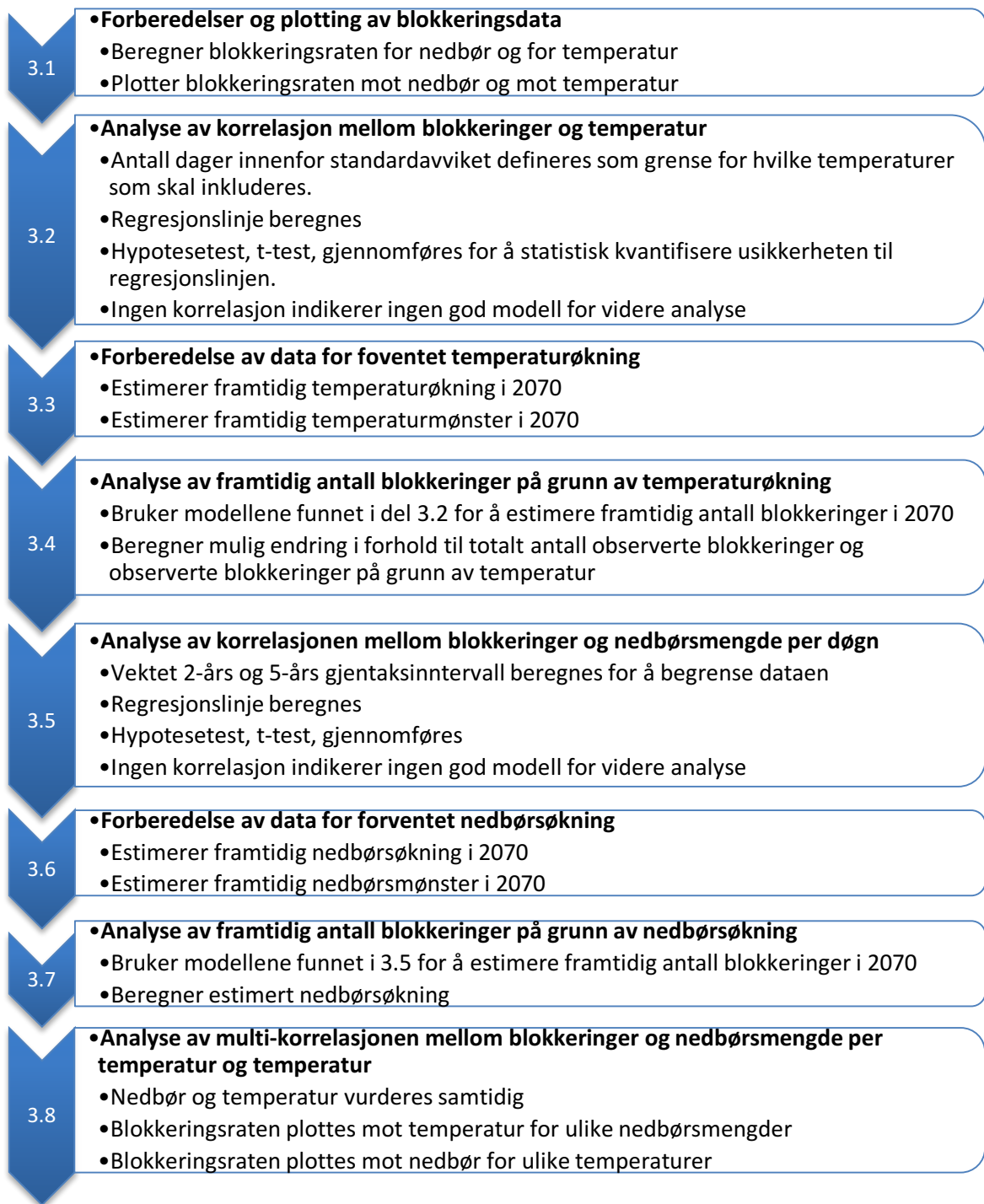
3. Metode

Metoden baserer seg på å teste hypotesene beskrevet i *1.3 Målbeskrivelse*. Følgende dataanalyse ble gjennomført:

- Blokkeringsraten for temperatur (antall blokkeringer per temperatur per dag) plottes mot dagtemperaturen og gjennomsnittlig temperatur for foregående uke.
- Blokkeringsraten for nedbør (antall blokkeringer per nedbørsmengde per dag) plottes mot mengde nedbør per dag og akkumulert nedbør 3 dager i forveien.

Den potensielle korrelasjonen for begge punktene over vil bli testet gjennom en lineær regresjonsmodell. Temperatur og nedbør vil også deles inn i bolker for å vurdere effekten av dette. Modellen vil så bli testet statistisk for å stadfeste med hvor stor sikkerhet man kan si at modellen er holdbar (Bruaset og Sægrov, 2017). Blokkeringsraten blir brukt i denne oppgaven istedenfor antall blokkeringer for å justere for at det er flere dager med lite nedbør enn dager med mye nedbør. Det samme gjelder for temperatur. Det er flere dager med temperaturer rundt 4°C enn -20°C.

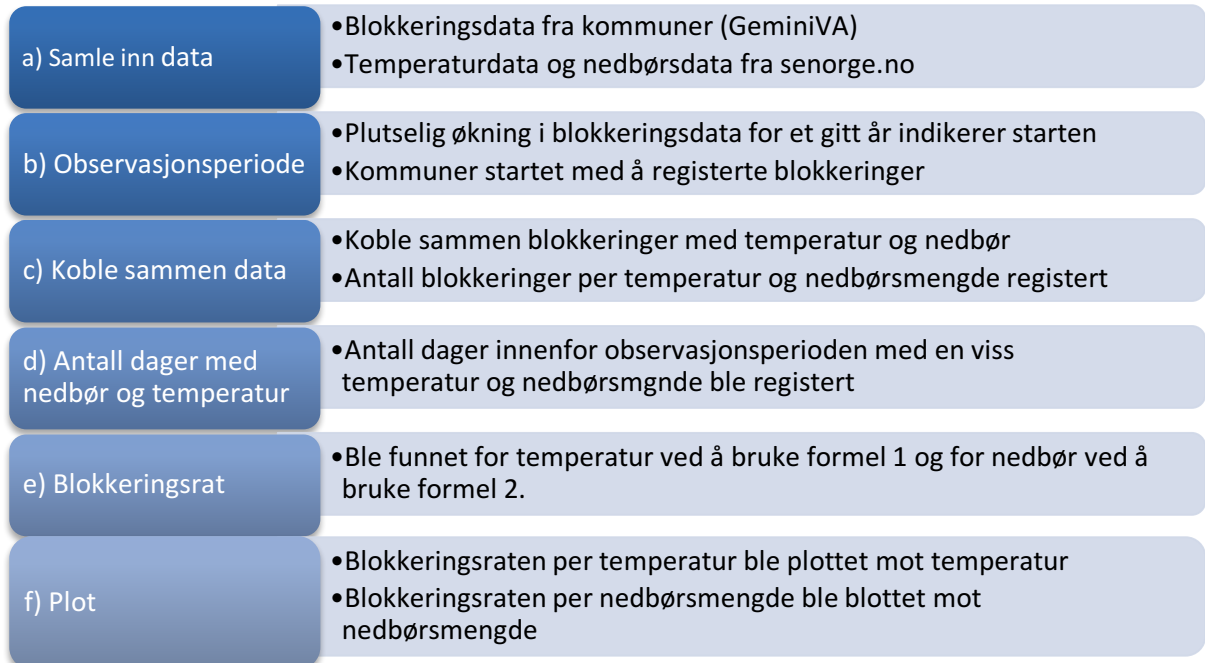
Denne analysen baserer seg på 12151 registrerte blokkeringer fra 8 ulike kommuner i Norge. Det ble valgt å ekskludere Tromsø fra analysen da det er registrert svært få blokkeringer i kommunen, se Tabell 1. Observasjonsvinduet varierer mellom 10 og 39 år.



Figur 3: Oversikt over metode som ble brukt til å finne den potensielle innvirkningen av framtidig nedbørs- og temperaturendringen på blokkeringsraten.

3.1 Forberedelser og plotting av blokkeringsdata

Bruaset og Sægrov (2018) sin metode ble fulgt og er vist i Figur 4. Samme prosedyre ble fulgt når blokkeringsraten ble koblet opp mot gjennomsnittstemperaturen for 7 dager og akkumulert nedbørsmengde 3 dager før.



Figur 4: Oversikt over metoden som ble brukt for forberedelse og plotting av blokkeringsdata.

$$BR = \frac{B/temp}{D/temp} \quad (1)$$

$$BR = \frac{B/nedbør}{D/nedbør} \quad (2)$$

BR – Blokkeringsrate, B – Antall blokkeringer, D – Antall dager

3.2 Analyse av korrelasjonen mellom blokkeringer og temperatur

Høy blokkeringsrate indikerer mange blokkeringer i forhold til antall dager med en temperatur. Denne vektingen kan være positivt når effekten av temperatur under frysepunktet skal vurderes da disse temperaturene ikke inntreffer like ofte som andre temperaturer. En negativ effekt av dette kan være at en blokkering som inntreffer på dager med en sjelden temperatur vil få høy blokkeringsrate. For å unngå å forstyrre korrelasjonen ble det valgt å kun inkludere temperaturer som har registrert tilstrekkelig antall dager, altså innenfor standardavviket.

Gjennomsnittlig antall dager	•Gjennomsnittlig antall dager per temperatur ble beregnet
Standardavvik	•Standardavviket for antall dager per temperatur ble beregnet
Begrenset data	•Minimum antall dager ble beregnet for å utelukke ikke-representative data
Plot	•Blokkeringsraten plottet mot temperatur for temperaturer med tilstrekkelig antall dager
Regresjonslinje	•Trendlinjen for grafen funnet brukes for å vurdere sammenhengen mellom temperatur og blokkeringsraten.
Hypotesetest	•For å statistisk kvanifisere usikkerheten til regresjonslinjen

Figur 5: Oversikt over metode brukt til å kunne utføre analyse av korrelasjonen mellom blokkeringer og temperatur.

En oversikt over prosedyren for å finne korrelasjonen mellom blokkeringer og temperatur er vist i Figur 5. Mer nøyaktig beskrivelse er vist under.

- a) Gjennomsnittlig antall dager per temperatur ble beregnet for verdiene i steg c) i Figur 4.
 - Antall dager registret på alle temperaturer totalt sett ble beregnet og delt på antall temperaturer i listen.
- b) Standardavviket for antall dager per temperatur ble beregnet.
- c) Minimum antall dager ble beregnet for å utelukke verdier som ikke er representative i denne analysen, se formel 3.
$$\text{Min antall dager} = \text{Gjennomsnitt} - \text{Standardavvik} \quad (3)$$
- d) Blokkeringsraten ble plottet mot temperatur for temperaturer med tilstrekkelig antall dager, se Figur 12.
- e) Ved å bruke trendlinjefunksjonen i Excel var det mulig å finne en funksjon som beskrev den lineære korrelasjonen mellom temperatur og blokkeringsrate for grafen funnet i d).
 - Trendlinjen representerer den lineære korrelasjonen med tilhørende R^2 -verdi. Korrelasjonskoeffisienten R sier noe om hvor godt punktene passer til regresjonslinjen. Kvadratet av denne gir forklaringsgraden, R^2 . Den beskriver hvor stor andel av variasjonene i y skyldes variasjonen i x , mens $1-R^2$ beskriver hvor stor andel er tilfeldige variasjoner (Helbæk, 2011).
 - Trendlinjen fra Excel gir en modell, se formel 4, som skal kontrolleres og usikkerheten skal kvantifiseres.

$$y_i = bx_i + a \quad (4)$$

f) Selv om forklaringsgraden, R^2 , gir en god indikasjon på hvor god sammenhengen mellom temperatur og blokkeringsraten er, kan mangel på verdier eller for store variasjoner mellom punktene og trendlinjen gi en modell med for store usikkerheter. Det ble derfor gjennomført en hypotesetest, t-test, for å statistisk kvantifisere usikkerheten til regresjonslinjen funnet i e).

- I hypotesetesten vurderes forskjellen mellom ρ og en gitt verdi. Definerte her null- og arbeidshypotese for å teste for lineær korrelasjon (Bruaset og Sægrov, 2017).
- r ble satt lik null for å finne ut om det er lineær korrelasjon i dataen. Testparameteren er definert i formel 5. Her representerer ρ_0 forventningsverdien for korrelasjonskoeffisienten r .

$$t = \frac{(r - \rho_0)}{\sqrt{(1 - r^2)/(n - 2)}} \quad (5)$$

n – antall temperaturer i analysen, $n-2$ – antall frihetsgrader, ρ_0 – forventningsverdi, α - signifikansnivå

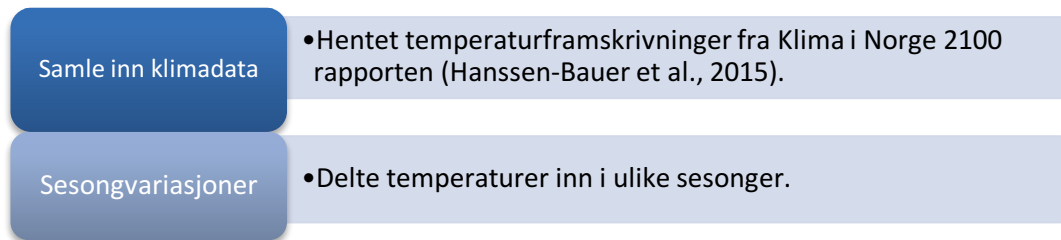
- Antall frihetsgrader ble i dette tilfelle $n-2$ da det er to ukjente verdier, a og b , se formel 4.
- Signifikansnivået α sier noe om hvor stor feil det tillates å ha i denne analysen. I denne analysen ble grensen satt til $\alpha = 0,05$ noe som indikerer 95% sannsynlighet for at det er lineær korrelasjon.
- Den kritiske grenseverdien ble funnet, $t_{\alpha, n-2}$ gjennom avlesning fra kvantiltabellen for t-fordelingen (Helbæk, 2011).
- Hvis $t < t_{\alpha, n-2}$ kan nullhypotesen forkastes. Det vil i dette tilfelle indikere en lineær trend innenfor grensen på $\alpha = 0,05$.
- Hypotesetesten ble kun gjennomført for regresjonslinjer til grafer som ga en tydelig trend og hvor det var tydelig at avstanden mellom punktene og regresjonslinjen ikke var for stor.

g) For å kunne vurdere effekten av temperatur på blokkeringsraten må blokkeringer som oppstår på grunn av andre årsaker enn temperatur, årsaker som nedbrytning, hydraulisk trykk, korrosjon osv., defineres (Bruaset og Sægrov, 2017; Pascal Le Gauffre, 2013). Det antas at blokkeringer som oppstår ved varmere temperaturer ikke er koblet sammen med temperaturen. Begrunnelsen for det er at det forventes at det ikke vil være bevegelse i

bakken på grunn av temperatur. Blokkeringsraten for den varmeste temperaturen (22°C) ble funnet ved å bruke den lineære regresjonslinjen.

Det ble valgt å gruppere temperaturen på ulike måter, f.eks. summere sammen 5 og 5 temperaturers antall dager og antall blokkeringer og finne en ny blokkeringsrate for intervallet. Det ble gjort for å indentifisere nye trender. Metoden beskrevet ovenfor ble så brukt på de ulike intervallene.

3.3 Forberedelse av data for forventet temperaturøkning



Figur 6: Oversikt over metode brukt for forberedelse av data for forventet temperaturøkning.

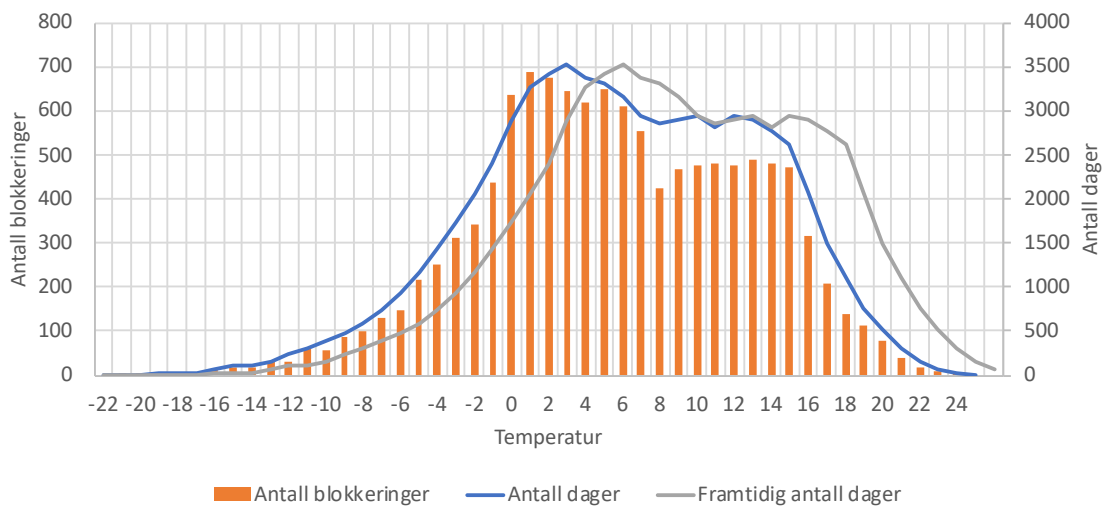
For å finne informasjonen om forventet temperaturøkning i 2070 ble metoden til Bruaset og Sægrov (2017) brukt. En oversikt over metoden er vist i Figur 6. En mer nøyaktig beskrivelse er vist under.

- a) Data fra Klima i Norge rapporten (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015) ble hentet inn.
 - Medianverdien fra alle tre utslippsscenarioer ble brukt, da disse representerer det mest sannsynlige utfallet.
 - Klima i Norge rapporten bruker to nedskaleringmetoder. En metode nedskalerte verdier for 3 utslippsscenarioer mens den andre nedskalerte for kun to av scenarioene. Gjennomsnittet for disse to metodene ble brukt for de scenarioene det var mulig.
 - I Hanssen-Bauer *et al.* (2015) ble det laget en lineær approksimasjon for historisk temperaturdata, 1971-2000. Med dette som bakgrunn velges det å anta at temperaturøkningen mellom periodene 1971-2000 og 2071-2100 vil være lineær selv om det vil være noen variasjoner.
 - Framskrivningene i Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015) projakterer temperaturen til perioden 2071-2100. I denne oppgaven velges det å se på temperaturer i 2070. Det vil si 50 år fram i tid som er innenfor normalt tidsperspektiv for strategiske analyser innen vann og avløp. Tidsperspektivet er ofte avhengig av rehabiliteringsraten til et system. Er rehabiliteringsraten mellom 1% og 2% vil hele systemet være byttet ut etter 50 år (Saegrov, 2005).

CARE-W LTP er et eksempel på et analyseverktøy som beregner rehabiliteringsbehov 50 år fram i tid (Bruaset, 2018).

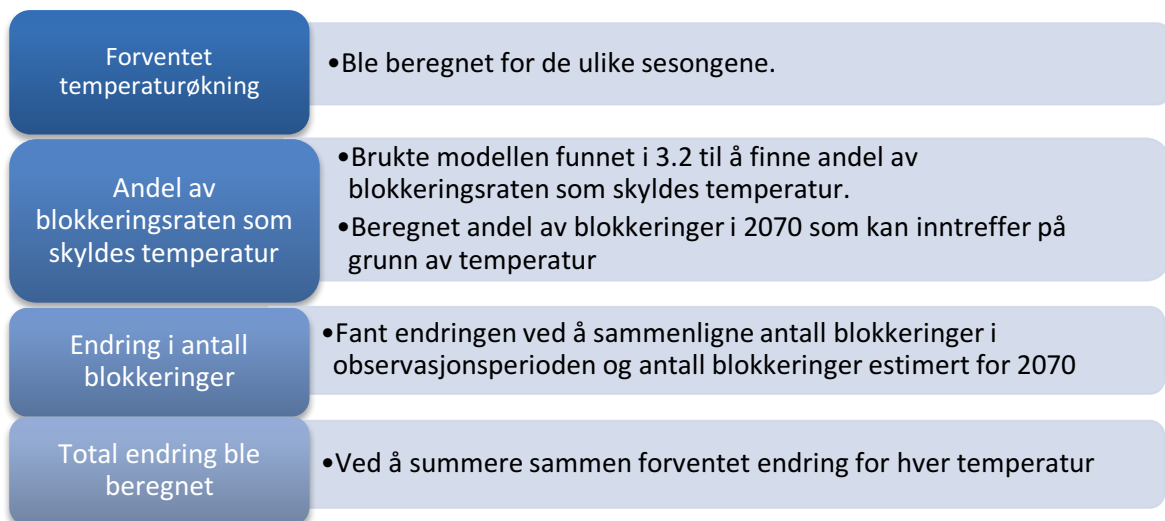
- Bruaset og Sægrov (2018) skriver: ”*Fra midten av referanseperioden til midten av en prosjekterte perioden er det 100 år imellom (1985 til 2085)... I 2070 antas det at omtrent 85% av den forventede temperaturøkningen har inntruffet.*” Det velges derfor å bruke en faktor på 85% for å finne framtidig temperaturøkning i 2070.
- b) Temperaturøkningen vil variere avhengig av sesong. Det velges derfor å dele temperaturer inn i sesonger. Det velges å kombinere høst og vår siden den forventede økningen om høsten og om våren er forholdsvis like (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015). Følgende tre intervaller ble valgt for de ulike sesongene (Bruaset og Sægrov, 2018):
- Sommer: $T > 12\text{ °C}$
 - Vinter: $T < 0\text{ °C}$
 - Vår + høst: $0\text{ °C} < T < 12\text{ °C}$
- c) Når analysen av framtidig blokkeringer på grunn av økt temperatur skulle gjennomføres ble det valgt å bruke modellene som har tilstrekkelig lav usikkerhet. Det ble valgt å bruke modeller med de høyest R^2 -verdiene når blokkeringsraten mot temperatur og blokkeringsraten mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur ble vurdert. Var forskjellen liten ble det valgt å bruke blokkeringsraten mot temperatur da den analysen ville gi den enkleste og sannsynligvis ”reneste” framtidsvurderingen.

Figur 7 illustrerer hvordan framtidig temperaturøkning vil kunne påvirke blokkeringsraten. Antall blokkeringer kan reduseres i framtiden hvis temperaturen øker. Det blir illustrert ved å forskyve kurven for antall dager (Bruaset og Sægrov, 2018). Raten er høy i de punktene hvor de oransje kolonnene går over grafen for antall dager. Forholdet mellom antall dager og antall blokkeringer reduseres da. Ved omtrent 6 °C synker antall blokkeringer i forholdt til antall dager med en temperatur. Under frysepunktet og ved temperaturer over 14 °C samsvarer antall dager og antall blokkeringer godt.



Figur 7: Antall blokkeringer, antall dager observert og framtidig antall dager plottet mot temperatur.

3.4 Analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av temperaturøkning



Figur 8: Oversikt over metode for analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av temperaturøkning.

Også i denne delen av analysen brukes metoden til Bruaset og Sægrov (2017) for å beregne framtidig påvirkning på blokkeringsraten på grunn av endring i temperatur. En oversikt over metoden er vist Figur 8. Temperaturer mellom -22°C og 25°C ble inkludert i analysen, altså alle verdier, også de utenfor minimum antall dager funnet i avsnitt 3.2 c). Minimum antall dager ble definert for å få en modell med tilstrekkelig sikkerhet. I dette avsnittet skal framtidig antall blokkeringer vurderes og det velges derfor å ta med alle temperaturer. Følgende prosedyre ble fulgt for de tre utslippsscenarioene:

- Beregnet en forventet temperaturøkning basert på beskrivelsene avsnitt 3.3. Forventet temperaturøkning er gitt i Tabell 14.

- b) Beregner forventet temperatur for sommer, vinter og vår + høst for 2070 ved å øke historiske/observerte verdier med temperaturene gitt i Tabell 14.
- c) Beregnet historiske blokkeringsrater ved å bruke formel 1.
- d) Beregnet andel av blokkeringsraten som skyldes temperatur ved å bruke formel 6. Blokkeringsraten på grunn av andre årsaker enn temperatur ble funnet ved å følge steg g i avsnitt 3.2.
- Andel av blokkeringsraten på grunn av temperatur har samme stigningstall, a, som trendlinjen som beskriver blokkeringsraten mot temperatur, men konstanleddet, b, er ulikt. For grafen som beskriver innvirkningen av temperatur vil konstanleddet ligge på 22°C.
- e) Beregnet antall historiske blokkeringer som kan skyldes temperatur ved å bruke formel 7.
- f) Antall blokkeringer med temperatur som årsak ble beregnet for 2070 ved å bruke formel 8.
- Det antas at formen på fordelingskurven vil være den samme i 2070 som den har vært historisk.
- g) Endringen i antall blokkeringer i 2070 ble beregnet ved å bruke formel 9. Det gjør det mulig å sammenligne historiske blokkeringer på grunn av temperatur og forventede blokkeringer på grunn av temperatur.
- h) Ved å summere forventet endring per temperatur kan total reduksjon eller økning i blokkeringer i framtiden estimeres, se formel 10.
- i) Prosentvis endring ble funnet ved å bruke formel 11.

$$BR\%_{temp} = \frac{(-0,0011x + 0,11743) - 0,150}{(-0,0011x + 0,11743)} * 100 \quad (6)$$

-0,0011x + 0,11743 fra lineær regresjonsmodell for temperatur

x – gitt temperatur, mellom -22°C og 25°C

0,150 representerer blokkeringsraten som skyldes andre årsaker enn temperatur

$$B_{hist,temp} = BR * BA_{temp} \quad (7)$$

$$B_{2070,temp} = BR * BA_{temp} * D_{ved framtidig temp} \quad (8)$$

$$B_{Endring per temp} = B_{2070,temp} - B_{hist,temp} \quad (9)$$

$$B_{Endring totalt} = \sum_{i=-22}^{25} B_{Endring per temp} \quad (10)$$

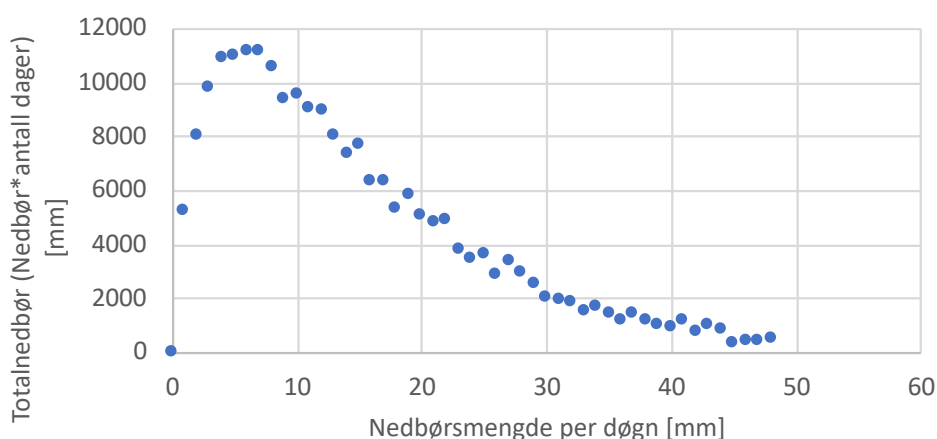
$$\%B_{\text{Endring totalt}} = \frac{B_{\text{Total endring}}}{B_{\text{hist}}} * 100 \quad (11)$$

BR – Blokkeringsrate, B – Antall blokkeringer, BA - Andel av blokkeringene

3.5 Analyse av korrelasjonen mellom blokkeringer og nedbørsmengde per døgn

I denne delen av analysen vurderes kun overvanns- og fellesledninger, da spillvannsledninger ikke påvirkes av nedbør i stor grad. For at spillvannsledninger skal kunne påvirkes må ledningen være utsatt for innlekking noe vi ser bort fra her.

Når korrelasjonen mellom blokkeringer og nedbørsmengde per døgn skal vurderes brukes gjentaktintervall som en begrensning av data. Denne metoden brukes siden total nedbør ikke er normalfordelt, se Figur 9. Det er derfor ikke mulig å bruke standardavvik som indikator. I denne oppgaven velges det å bruke gjentaksintervall på 2 år og 5 år som indikator, da det er snakk om blokkeringer som kan inntreffe relativt hyppig.



Figur 9: Totalnedbør plottet mot nedbørsmengde per døgn

Begrenser data	•Finner 2- og 5-års gjentaksintervall for de 8 kommunene og vektet dem etter antall blokkeringer.
Plot	•Blokkeringsraten plottet mot nedbørsmengden •Linær trendlinje plottet
Hypotesetest	•Fastsetter sikkerheten til den lineære trendlinjen og gjennomfører lineær regresjonsanalyse som beskrevet i 3.2.

Figur 10: Oversikt over metode for analyse av korrelasjon mellom blokkeringer og nedbørsmengde per døgn.

Figur 10 viser en oversikt over metoden. Under blir framgangsmåten beskrevet mer detaljert.

- a) Gjentakintervall, i mm, for de 8 kommunene ble funnet fra klimaservicesenter.no. IDF-kurver ble brukt med varighet 24 timer for å finne 2- og 5-års gjentakintervall.
- b) Nedbørsmengdene for de ulike gjentakintervallene i de 8 kommunene funnet i a) ble vektet etter antall registrerte blokkeringer i de 8 kommunene. Dette ble gjort for OV og AF samlet, for OV og for AF.
- c) Blokkeringsraten ble plottet mot nedbørsmengden for nedbørsmengder innenfor 2- og 5-års gjentakintervall.
- d) Regresjonslinje ble funnet og ble testet gjennom hypotesetest som beskrevet i e) og f), avsnitt 3.2.

3.6 Forberedelse av data for forventet nedbørs økning

For å finne informasjon om forventet nedbørsendring ble følgende metode brukt:

- a) Data fra Klima i Norge rapporten (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015) ble hentet inn.
 - Medianverdien av RCP4.5 og RCP8.5 ble brukt, da disse representerer det mest sannsynlige utfallet.
 - For nedbør velges det å bruke en faktor på 85% for å finne framtidig temperaturøkning i 2070, se punkt a) avsnitt 3.3 for forklaring.
- b) I følge Hanssen-Bauer *et al.* (2015) blir kraftig nedbør definert som

"... ettdøgnsnedbør som ble overskredet i 0,5 % av dagene i perioden 1971–2000 (det vil si den døgnverdien som ble overskredet ca. to ganger per år på årsbasis og en gang pr andre år på årstidsbasis)".
- c) Det velges å bruke daglige nedbørsverdier når framtidig blokkeringer på grunn av nedbør skal beregnes. En grunn til dette er at analysen av blokkeringsrate mot nedbør gir flere modeller som tilfredsstillt kravet på signifikansnivå 5%. Samtidig er det vanskeligere å si noe om hvordan 3 dagers akkumulert nedbør vil påvirkes av klimaendringene i framtiden.

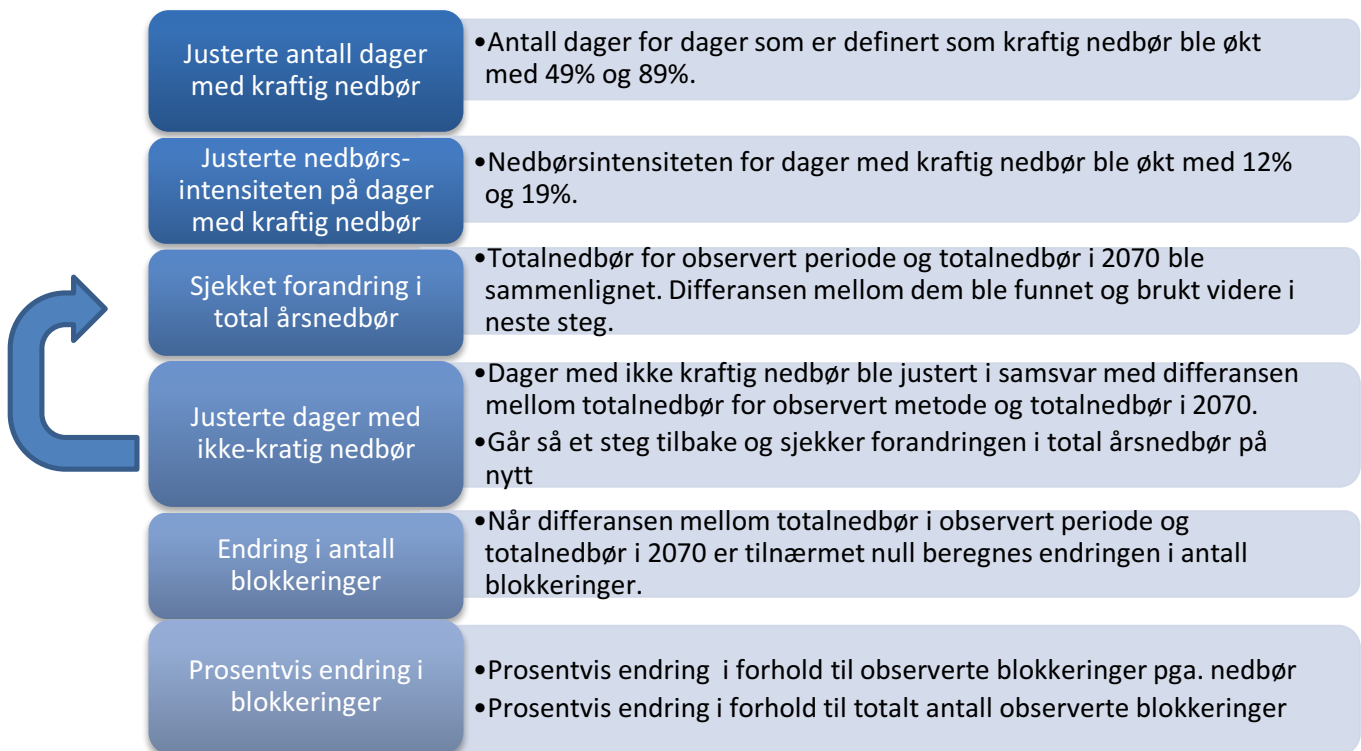
3.7 Analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av nedbørsøkning

I følge Hanssen-Bauer *et al.* (2015) vil den årlige totalnedbøren, antall dager med kraftige nedbør og nedbørintensiteten på dager med kraftig nedbør øke som vist i listen under:

- Relativ forandring (%) i antall dager med kraftig nedbør for RCP4.5 og RCP8.5 er 49% og 89% for median framskrivning.
- Relativ forandring (%) i nedbørintensitet for dager med kraftig nedbør for RCP4.5 og RCP8.5 er 12% og 19% for median framskrivning.

- Relativ forandring (%) i årsnedbør for RCP4.5 og RCP8.5 er 8% og 18% for median framskrivning.

For å inkludere disse tre forandringene ble analysen gjennomført i flere steg. Figur 11 viser en oversikt over metoden som ble brukt. Beskrivelse av metoden i detalj følger under figuren. Det ble valgt å ikke ta hensyn til sesongvariasjoner da det er vanskelig å koble nedbørsmengder opp mot årstid.



Figur 11: Oversikt over metode brukt til å kunne utføre analyse av framtidig antall blokkeringer på grunn av nedbørsøkning.

a) Justerte antall dager med kraftig nedbør.

- Antall dager som regnes som kraftig nedbør ble økt med verdiene beskrevet av Hanssen-Bauer *et al.* (2015), se formel 12.
- Antall dager ble multiplisert med faktoren 0,85 for å finne antall dager i 2070.
- Overgangen mellom ikke-kraftig nedbør og kraftig nedbør ble jevnet ut for å tilpasse modellen til en mer reel situasjon.

b) Justerte nedbørintensiteten for dager med kraftig nedbør.

- Nedbørintensiteten på dager med kraftig nedbør ble økt med verdiene beskrevet av Hanssen-Bauer *et al.* (2015), se formel 13.
- Også disse verdiene ble multiplisert med faktoren 0,85 for å finne nedbørsmengden i 2070.

- Framtidig antall dager for de ulike nedbørsmengdene ble funnet ved å koble sammen framtidige nedbørsmengder med antall dager justert funnet i a).
- c) Justerte for forandring i årsnedbør.
- Satt årsnedbør lik summen av totalnedbør, se formel 14. Fant totalnedbøren for observert periode og for beregnet verdier i 2070.
 - Fant prosentvis endring i totalnedbør for observert periode og for beregnet verdier i 2070. Prosentvis endring ble så sammenlignet med framskrivningen. Framskrivningene ble justert med 85%.
 - Om beregnet prosentvis endring ikke stemte overens med framskrivningene ble nedbør for ikke-kraftig nedbør justert. Det vil si at antall dager for ikke-kraftig nedbør ble multiplisert med prosentvis differanse mellom årsnedbør for observert periode og årsnedbør i 2070.
 - Sjekket så årsnedbøren på nytt for endrete verdier. Om beregnet prosentvis endring ikke stemte overens med relativ forandring i årsnedbør i følge framskrivningene ble ikke-kraftig nedbør justert på nytt. Om årsnedbøren for observert periode og i 2070 samsvarte med framskrivningene var det mulig å gå videre til neste steg av analysen.
- d) Beregnet forskjell i antall blokkeringer og prosentvis endring i 2070.
- Fant andel av blokkeringsraten som skyldes nedbør ved å bruke formel 15. Kun positive verdier ble inkludert i analysen siden negativ påvirkning av temperatur ikke er et reelt tilfelle.
 - Fant antall blokkeringer på grunn av nedbør ved å bruke formel 16. Gjorde dette for observerte blokkeringer, RCP4.5 og RCP8.5.
 - Summerte sammen antall blokkeringer på grunn av nedbør for observerte blokkeringer og antall blokkeringer for RCP4.5 og RCP8.5 for nedbørsmengdene mellom 0 og 60 mm.
 - Fant forskjellen i antall blokkeringer ved å se på differansen mellom summert antall blokkeringer for observerte blokkeringer og framskrivningene.
 - Beregner prosentvis endring ved å multiplisere forskjellen i antall blokkeringer på sum observert blokkeringer på grunn av nedbør.

$$D_{2070} = D_{hist} * (1 + endring) \quad (12)$$

$$N_{2070} = N_{hist} * (1 + endring) \quad (13)$$

$$TN = N * D \quad (14)$$

$$BA_{nedbør} = Y - B_{ikke-klimatisk} \quad (15)$$

$$B_{nedbør} = BA_{nedbør} * B \quad (16)$$

D – Antall dager, N - Nedbørsmengde, TN – Totalnedbør

$BA_{nedbør}$ – blokkeringsandel på grunn av nedbør

Y – lineær regresjonslinje for modellen funnet i steg c) avsnitt 3.5

$B_{ikke-klimatisk}$ – Blokkeringsrate på grunn av andre årsaker enn nedbør.

$BA_{nedbør}$ – Antall blokkeringer på grunn av nedbør

3.8 Analyse av multi-korrelasjonen mellom blokkeringer og nedbørsmengde per døgn og temperatur

I denne delen av oppgaven skal nedbør og temperatur vurderes samtidig i en såkalt multivariabel analyse. Følgende metode ble fulgt:

- a) Blokkeringer med tilhørende temperatur og nedbør ble systematisert ved å summere antall blokkeringer som inntraff for de ulike kombinasjonene av nedbør og temperatur. Det inntraff for eksempel 16 blokkeringer på dager med temperatur på 9 °C og 8 mm nedbør.
- b) Det samme ble gjort for antall dager. Brukes det samme eksempel, 9 °C og 8 mm, ble det observert 71 dager.
- c) Blokkeringsraten ble funnet ved å bruke formel 1 for de ulike kombinasjonene funnet i a) og b).
- d) Blokkeringsraten ble plottet mot temperatur for ulike nedbørsmengder og blokkeringsraten ble plottet mot nedbør for de ulike temperaturene.

4. Resultater

4.1 Dataanalyse

Tabell 1 illustrerer antall registrerte blokkeringer for de ulike ledningstypene i de 9 ulike kommunene. % av tot viser prosentandelen av totalt antall blokkeringer som er 12176. Det ble valgt å utelate Tromsø fra analysen da det ikke er registrert mer enn 25 blokkeringer fordelt på OV, SP og AF.

Omtrent 17% av blokkeringene kunne ikke kobles opp mot ledningsdata. Det var dermed ikke mulig å vite hvilken ledningstype (AF, OV eller SP) eller ledningsmateriale blokkeringen kunne kobles opp mot. Disse ledningene ble registrert i Oslo og Bergen. Dataen tilsvarer 42% av de registrerte blokkeringene i Oslo og 16,24% av de registrerte blokkeringene i Bergen. Det ble valgt å ta med denne dataen for analysen for temperatur for OV, SP og AF samlet da flere typer ledninger var inkludert i analysen. I nedbørsanalysen ble det valgt å utelate dataen da kun overvannsledninger og fellesledninger ble vurdert.

Av blokkeringene som kunne kobles opp mot ledningsdata ble 54,3% registrert som spillvannsledninger, 43,0% som fellesledninger og 2,7% som overvannsledninger.

Tabell 1: Oversikt over type blokkeringer i de ulike kommunene.

BY	Antall DST	% av tot	AF	% av tot	OV	% av tot	SP	% av tot
Bergen	1077	8,85	496	4,07	30	0,25	356	2,92
Bærum	468	3,84	118	0,97	10	0,08	340	2,79
Drammen	313	2,57	149	1,22	16	0,13	86	0,71
Fredrikstad	871	7,15	269	2,21	37	0,30	564	4,63
Kristiansand	850	6,98	27	0,22	48	0,39	775	6,36
Oslo	5005	41,1	1477	12,1	28	0,23	1365	11,21
Stavanger	1864	15,3	786	6,46	27	0,22	1051	8,63
Tromsø	25	0,21	20	0,16	1	0,01	3	0,02
Trondheim	1703	14,0	841	6,91	63	0,52	799	6,56
Totalt	12176							

Fordelingen av materiale er vist i

Tabell 2. Den største andelen av blokkeringer inntreffer i betongledninger. PVC-ledninger representerer den nest største gruppen. STF representerer kunstfiber, STG glassfiber og LER representerer ledninger av leire. I denne oppgaven har det blitt valgt å se på betongledninger og plastledninger for å sjekke om det er noen synlige trender.

Tabell 2: Antall blokkeringer og prosentvis andel av totalt antall blokkeringer som kunne kobles opp mot materiale for de ulike materialene som representerer en større del av ledningsnettet.

Materiale	Antall blokkeringer	Prosentvis andel av totalt antall blokkeringer som kunne kobles opp mot materiale
BET	5422	58,0
PVC	1760	18,8
STF	636	6,8
PE	625	6,7
STG	309	3,3
LER	286	3,1
PEH	82	0,9

Tabell 3 viser antall blokkeringer per ledningslengde (km) for 8 kommuner i perioden 2000 til 2015. Også gjennomsnittlig blokkeringsrate er gitt. *Ikke reg* representerer ingen registrerte blokkeringer. Det er mulig å se at antall blokkeringer per ledningslengde har gått ned de siste årene. De grønne markeringene i tabellen representerer at raten er bedre enn gjennomsnittlig rate i følge KOSTRA (2017), mens de røde markerer verre enn gjennomsnittlig rate.

Tabell 3: Antall blokkeringer per ledningslengde (km) for de ulike kommunene og gjennomsnittet for hvert år og for hver kommune i perioden 2000-2015.

ÅR	Bergen	Bærum	Drammen	Fredrikstad	Kristiansand	Oslo	Trondheim	Stavanger	Gjen.
2000	0,060	0,019	0,120	0,019	Ikke reg	0,245	0,041	0,084	0,084
2001	0,029	0,031	0,027	0,064	Ikke reg	0,206	0,083	0,051	0,070
2002	0,044	0,056	0,006	0,316	Ikke reg	0,227	0,027	0,037	0,102
2003	0,049	0,056	0,036	0,207	Ikke reg	0,176	0,028	0,113	0,095
2004	0,029	0,057	0,053	0,086	0,045	0,271	0,055	0,064	0,082
2005	0,045	0,023	0,026	0,113	0,043	0,219	0,040	0,085	0,074
2006	0,110	0,050	0,028	0,065	0,079	0,215	0,049	0,065	0,083
2007	0,067	0,034	Ikke reg	0,073	0,081	0,163	0,022	0,061	0,072
2008	0,055	0,024	Ikke reg	0,085	0,109	0,229	0,028	0,055	0,084
2009	0,055	0,032	Ikke reg	0,101	0,123	0,173	0,045	0,052	0,083
2010	0,076	0,061	Ikke reg	0,077	0,117	0,168	0,030	0,038	0,081
2011	0,052	0,026	Ikke reg	0,050	0,166	0,239	0,030	0,047	0,087
2012	0,051	0,021	Ikke reg	0,041	0,132	0,128	0,035	0,054	0,066
2013	0,045	0,026	Ikke reg	0,049	0,121	0,127	0,051	0,065	0,069
2014	0,009	0,024	Ikke reg	0,013	0,115	0,012	0,016	0,044	0,033
2015	Ikke reg	Ikke reg	Ikke reg	0,032	0,082	Ikke reg	Ikke reg	0,003	0,039
Gjen.	0,052	0,036	0,042	0,087	0,101	0,187	0,039	0,057	

4.2 Blokkeringsraten på grunn av ikke-klimatiske årsaker

Blokkeringer som oppstår på grunn av ikke-klimatiske årsaker som nedbrytning, hydraulisk trykk, geologiske forhold, jordtype osv. defineres her. Dette gjøres for å kunne skille effekten av temperatur og nedbør fra andre årsaker.

4.2.1 Temperatur

Pascal Le Gauffre (2013) fant feilraten på grunn av ikke-klimatiske årsaker ved å sammenligne blokkeringsraten for sommermånedene og for vintermånedene. For brudd i ledningsnett var det mulig å gjøre dette, men blokkeringer i ledningsnett viser ikke den samme trenden. Tabell 4 viser antall blokkeringer som inntraff de ulike månedene og prosentandelen av alle blokkeringer som inntraff den måneden. Gjennomsnittlig antall blokkeringer for en måned er også vist. Resultatet viser at flest blokkeringer har inntruffet i månedene mars, januar og april. Gjennomsnittlig antall blokkeringer var høyest for januar. Siden det ikke er vintermånedene som har flest antall blokkeringer kan det indikere at blokkeringer ikke følger samme trend som brudd på ledninger. Både november og desember er blant månedene med lav prosentandel av blokkeringene. I denne oppgaven velges det derfor å basere de ikke-klimatiske blokkeringene på den lineære korrelasjonen istedenfor (Bruaset og Sægrov, 2018). Velger å bruke temperaturen 22°C i den lineære formelen for å kunne finne blokkeringsraten på grunn av andre årsaker enn temperatur. Denne vil beregnes for hvert enkelt tilfelle videre i oppgaven.

Tabell 4: Antall blokkeringer per måned sortert etter antall blokkeringer. Prosentandel av total antall blokkeringer for hver måned og gjennomsnittlig antall blokkeringer for den gitte måneden.

Måned	Antall blokkeringer	Prosentandel	Gjennomsnitt
7	740	5,9	6,7
11	876	7,0	8,7
12	932	7,4	10,1
9	945	7,5	10,1
10	961	7,6	9,5
8	1005	8,0	9,9
5	1067	8,5	10,4
6	1107	8,8	10,5
2	1166	9,3	11,1
4	1238	9,9	10,9
1	1263	10,1	12,5
3	1267	10,1	12,1

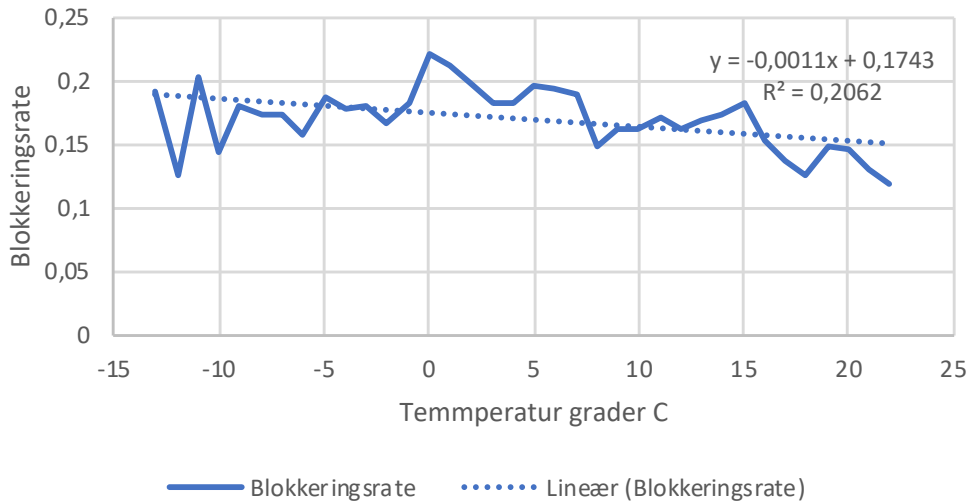
4.2.2 Nedbør

Blokkeringsraten for dager uten nedbør og dager med kun 1 og 2 mm nedbør er omtrent 0,059. Blokkeringsraten der nedbør 3 dager i forveien har blitt akkumulert er også 0,059 for dager for 0 mm nedbør. Det velges derfor å bruke 0,059 som blokkeringsraten for ikke-klimatiske årsaker.

4.3 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og temperatur

4.3.1 Overvanns-, spillvanns- og fellesledninger samlet

Figur 12 illustrerer blokkeringsraten (blokkeringer/temperatur/dag) mot temperatur. Resultatet viser en invers korrelasjon for økende temperatur med en relativt lav R^2 verdi på 0,2062. Den høyeste blokkeringsraten er 0,2205 ved 0°C.



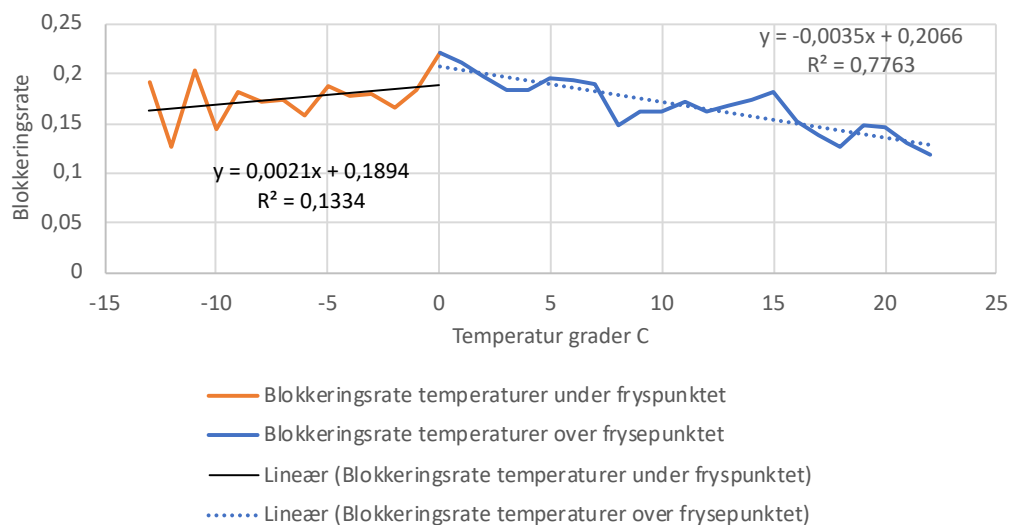
Figur 12: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur.

Temperaturene ble inndelt på ulike måter for å gjøre det lettere å identifisere trender som beskriver forholdet mellom temperatur og blokkeringsraten. Når 5, 3 og 10 temperaturer blir gjort om til et intervall på ulike måter ble de høyeste blokkeringsraten 0,1990 for temperaturer mellom -1°C og 3°C, 0,2063 for temperaturer mellom -1°C og 1°C og 0,1931 for temperaturer mellom -2°C og 7°C. Tabell 5 viser antall blokkeringer per måned for temperaturene mellom -2°C og 7°C. Det er færrest blokkeringer i sommermånedene, og flest i månedene der det kan foregå snøsmelting.

Tabell 5: Antall blokkeringer fordelt på de ulike månedene for temperaturer mellom -2°C og 7°C

Måned	Antall blokkeringer
April	1014
Mars	978
Januar	816
November	699
februar	665
Desember	619
Oktober	569
Mai	332
September	75
Juni	41
Juli	2
August	0

Figur 12 viser en graf med størst blokkeringsrate ved 0°C. Blokkeringsraten avtar for verdier lavere og høyere enn denne. Det velges å plote to trendlinjer for å kunne vurdere verdiene over og under frysepunktet hver for seg, se Figur 13. R^2 er her høyere for begge trendlinjene i forhold til trendlinjen i Figur 12, noe som indikerer at koblingen mellom temperatur og blokkeringsrate er mindre tilfeldig.



Figur 13: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet.

4.3.1.1 Lineær korrelasjonsanalyse for temperaturer mellom -13°C og 22°C

En lineær korrelasjonsanalyse ble gjennomført for å sjekke usikkerheten for modellen i Figur 12. Siden trendlinjen indikerer en negativ lineær korrelasjon gjennomføres det en venstrehalet test (Bruaset og Sægrov, 2017), se formel 17.

$$H_0: \rho = 0 \quad , \quad H_1: \rho < 1 \quad (17)$$

Den lineære trendlinjen blir beskrevet med følgende formel:

$$y = -0,0011x + 0,1743 \quad (18)$$

De stokastiske variablene a og b i formel 4 har ukjent forventningsverdi og standardavvik, men et estimat for disse, a' og b', kan finnes i Excel ved å gjennomføre en regresjonsanalyse. Standardfeilen vil da representere standardavviket for a' og b' som representerer standardavviket for blokkeringsraten (Helbæk, 2011). Regresjonsanalyse gjennomfør i Excel ga R² og R for regresjonslinjen -0,4541 og 0,2062. Antall observasjoner er 36 og frihetsgrader blir dermed 34.. Tester først for H₀, da antas det at ρ₀ er lik 0.

$$t = \frac{(-0,4541 - 0)}{\sqrt{(1 - 0,2062)/(34)}} = -2,9719 \quad (19)$$

$$-t_{\alpha, n-2} = t_{0,05, 34} = -1,684 - \frac{34-40}{30-40} * (1,697 - 1,684) = -1,6918 \quad (20)$$

$t < -t_{\alpha, n-2}$ indikerer at null-hypotesen kan forkastes. En negativ lineær trend kan fastslås med signifikansnivå på 5 % og modellen har dermed en sikkerhet innenfor kravet på 95%. Sjekkes det lavest mulige signifikansnivå har modellen en sikkerhet på opp til 99,5%. Statistisk sett er modellen en god lineær modell.

4.3.1.2 Lineær korrelasjonsmodell for temperaturer mellom -13°C og 0°C og mellom 0°C og 22°C

Tester usikkerheten til trendlinjene i Figur 13. Trendlinjen for blokkeringsrate for temperaturer under frysepunktet er positiv og en høyrehalet test må derfor gjennomføres, se formel 21. For trendlinjen med blokkeringsrate for temperaturer over frysepunktet gjennomføres en venstrehalet test og formel 2 brukes derfor. Resultatene fra analysen er vist i tabell 6. Analysen indikerer at trendlinjen for verdiene mellom 0°C og 22°C, se formel 22, er en god modell med signifikansnivå 0,05%, altså en sikkerhet på 99,95%. Usikkerheten ved å bruke denne modellen er derfor svært lav og lavere enn for modellen for temperaturer mellom -13°C og 22°C. Trendlinjen for verdiene mellom -13°C og 0°C gir ifølge denne analysen en ikke sikker nok modell, da modellen kun kan defineres som lineær ved en usikkerhet på 10%.

$$H_0: \rho = 0, \quad H_1: \rho > 1 \quad (21)$$

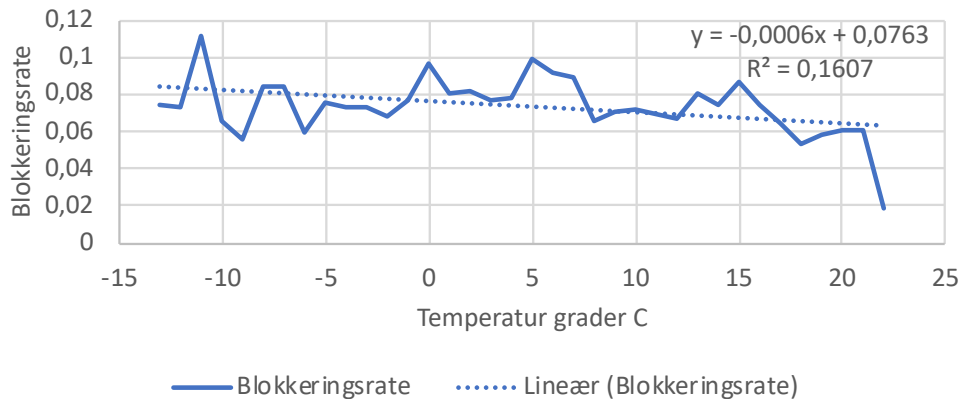
$$y = -0,0035x + 0,2066 \quad (22)$$

Tabell 6: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for temperaturer -13°C og 0°C og mellom 0°C og 22°C

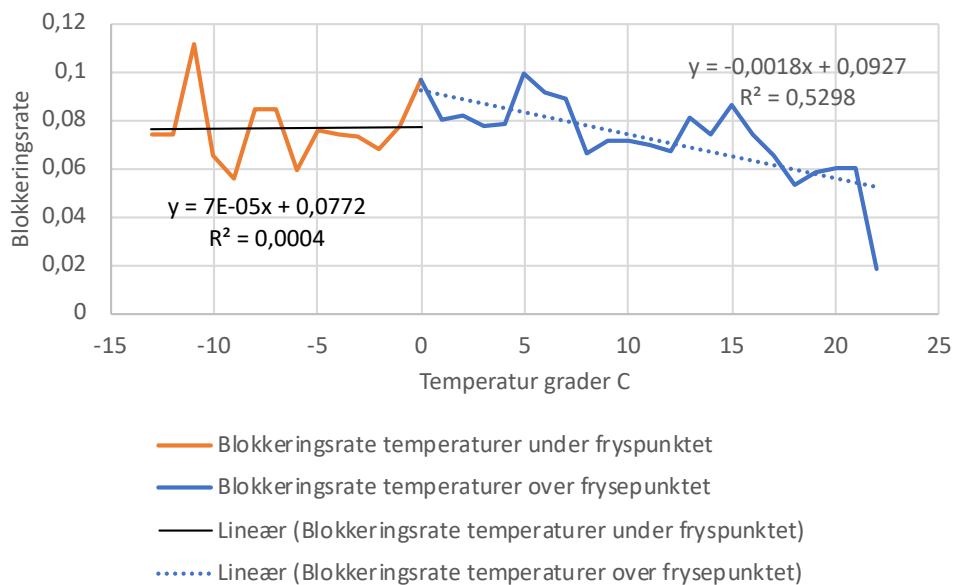
Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
> 0°C	-0,8811	0,7763	-1,7222	-8,5368	23	Ja
< 0°C	0,3653	0,1334	1,782	1,3593	14	Nei

4.3.2 Spillvannsledninger

For spillvannsledninger er resultatet vist i Figur 14. Også her har trendlinjen blitt plottet for verdier over og under 0°C, se Figur 15.



Figur 14: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for spillvannsledninger (SP)



Figur 15: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for spillvannsledninger (SP)

4.3.2.1 Lineær korrelasjonsmodell

Resultatene fra regresjonsanalysen i Excel og t-testen for trendlinjene i Figur 14 og Figur 15 er gitt i Tabell 7. Analysen indikerer at trendlinjene for verdiene mellom -13°C og 22°C, se formel 23, og 0°C og 22°C, se formel 24, er gode modell med signifikansnivå innenfor kravet på 5%.

Den førstnevnte har signifikansnivå ned til 1%, mens den andre har signifikansnivå ned til 0,05%. Det betyr at modellene har svært lav usikkerhet. Trendlinjen for verdiene mellom -13°C og 0°C gir i følge denne analysen en ikke sikker nok modell, da usikkerheten er større enn 40%.

$$y = -0,0006x + 0,0763 \quad (23)$$

$$y = -0,0018x + 0,0927 \quad (24)$$

Tabell 7: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for spillvannsledninger (SP)

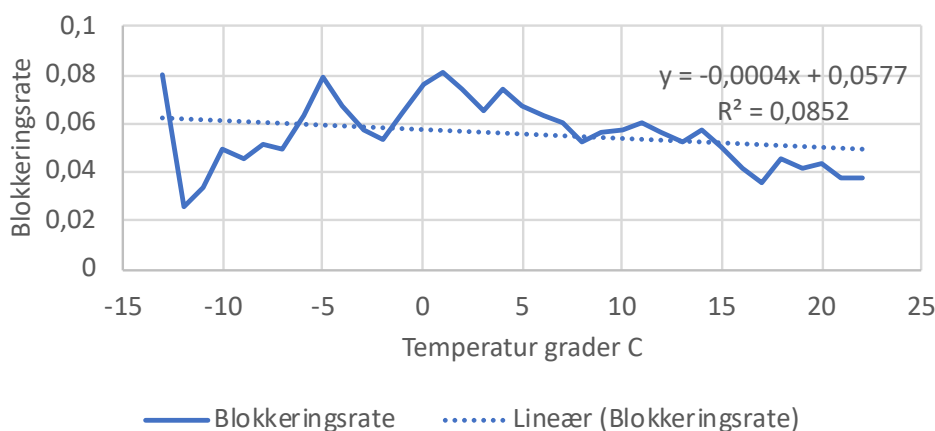
Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
-13°C til 22°C	-0,4008	0,1607	-1,6918	-2,5511	36	Ja
> 0°C	-0,7278	0,5298	-1,7222	-4,8639	23	Ja
< 0°C	0,0201	0,0004	1,782	0,0697	14	Nei

4.3.3 Overvannsledninger (OV)

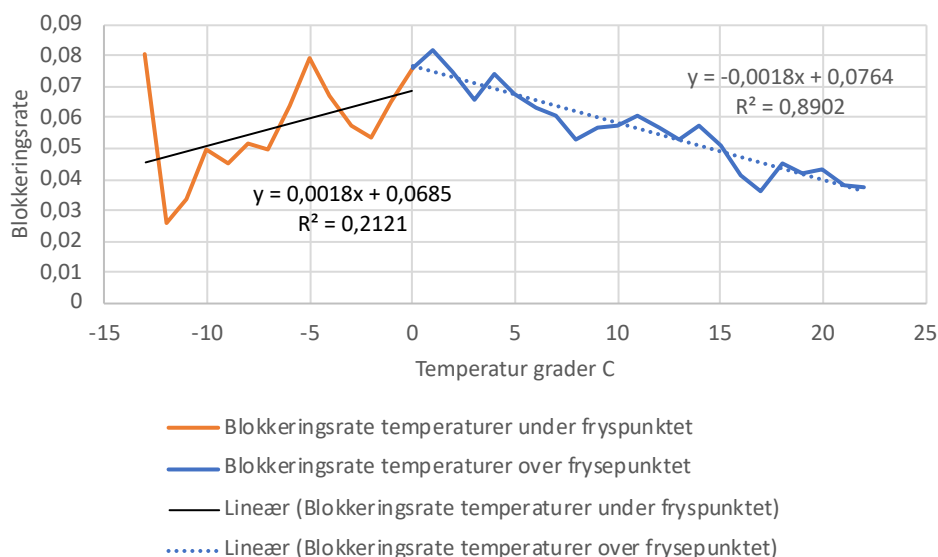
Når blokkeringsraten for overvannsledninger plottes mot temperatur er det ikke mulig å observere gode trender. Grafen gir en trendlinje med svært lav R²- verdi på 0,0179. Det velges derfor å ikke gjennomføre en lineær regresjonsanalyse.

4.3.4 Fellesledninger (AF)

Resultatet for fellesledninger er vist i Figur 16 og Figur 17.



Figur 16: Blokkeringsrate og lineær trendlinje mot temperatur for fellesledninger (AF)



Figur 17: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for fellesledninger (AF)

4.3.4.1 Lineær korrelasjonsmodell

Resultatene fra den lineære korrelasjonsanalysen og t-testen er gitt i

Tabell 8. Alle trendlinjene som ble testet er gode lineære modeller med signifikansnivå 5%. Trendlinjen for blokkeringsraten plottet mot temperaturer over frysepunkter gir en god lineær modell med signifikansnivå ned til 0,05%. Formel 25, 26 og 27 viser modellen til verdiene mellom -13°C og 22°C, 0°C og 22°C, og -13°C og 0°C.

$$y = -0,0004x + 0,0577 \quad (25)$$

$$y = -0,0018x + 0,0764 \quad (26)$$

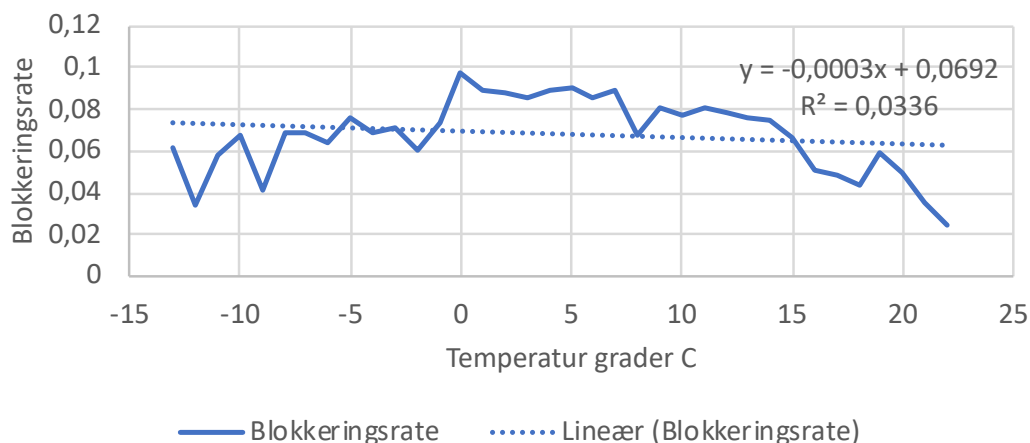
$$y = 0,0018x + 0,0685 \quad (27)$$

Tabell 8: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for fellesledninger (AF)

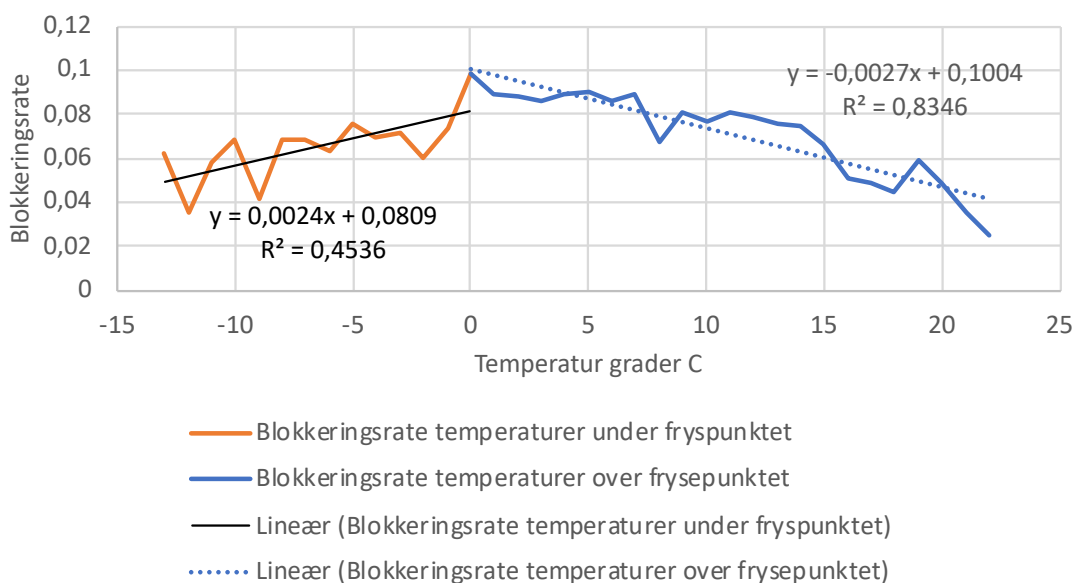
Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
-13°C til 22°C	-0,2918	0,0852	-1,6918	-1,7789	36	Ja
> 0°C	-0,9435	0,8902	-1,7222	-13,05	23	Ja
< 0°C	0,4606	0,2121	1,782	1,797	14	Ja

4.3.5 Betongledninger

Resultatet for betongledninger er vist i Figur 18 og Figur 19.



Figur 18: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for betongledninger



Figur 19: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for betongledninger

4.3.5.1 Lineær korrelasjonsmodell

Tabell 9 viser resultatene for den lineære regresjonsanalysen for trendlinjene vist i Figur 18 og Figur 19. Trendlinjen gitt i Figur 18 gir ikke en god modell med signifikansnivå 5%. Usikkerheten for modellen overstiger 10%. Trendlinjen for temperaturer over frysepunktet, se formel 28, og trendlinjen for temperaturer under, se formel 29, gir begge gode modeller med signifikansnivå 0,05% og 0,5%.

$$y = -0,0027x + 0,1004 \quad (28)$$

$$y = 0,0024x + 0,0809 \quad (29)$$

Tabell 9: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for betongledninger

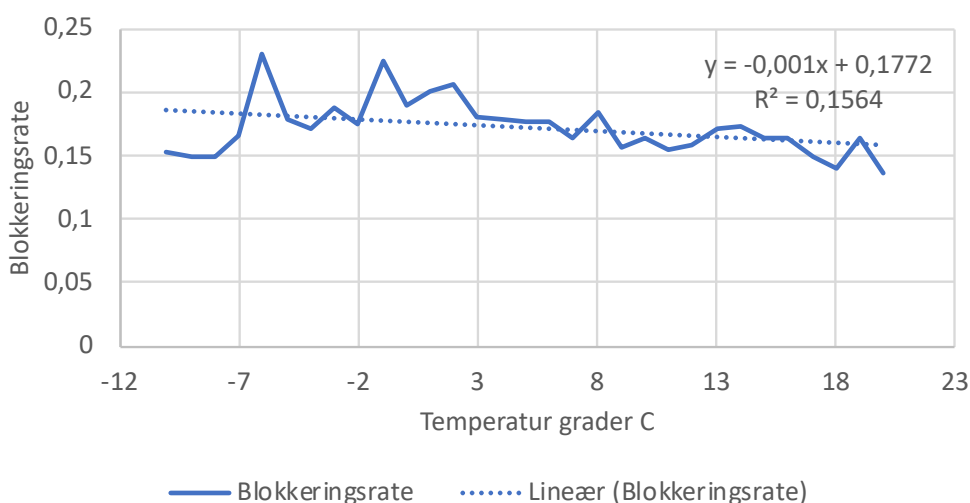
Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
-13°C til 22°C	-0,1833	0,0336	-1,6918	-1,0870	36	Nei
> 0°C	-0,9135	0,8346	-1,7222	-10,2948	23	Ja
< 0°C	0,6735	0,4536	1,782	3,1561	14	Ja

4.3.6 Plastledninger

For plastledninger ga blokkeringsraten plottet mot temperatur en trendlinje med svært lav R²-verdi. Det velges derfor å utelate plastledninger fra denne analysen.

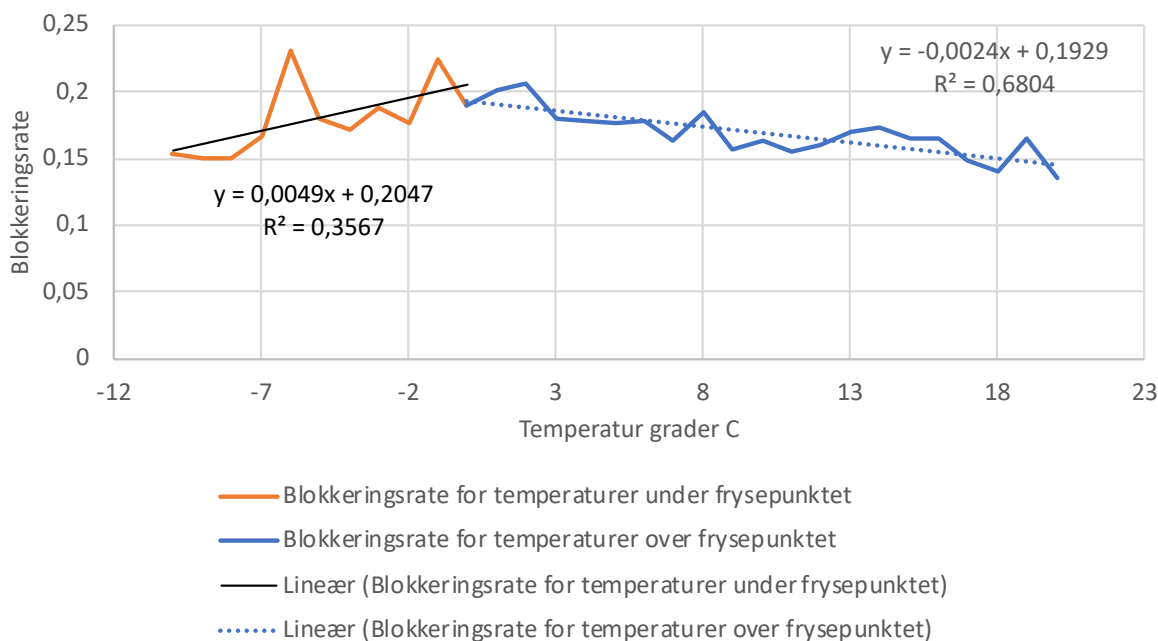
4.4 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og ukentlig gjennomsnittlig temperatur

4.4.1 Overvanns-, spillvanns- og fellesledninger samlet



Figur 20: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur

Figur 20 viser blokkeringsraten plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur for temperaturer mellom -10°C og 20°C da disse temperaturene har antall dager innenfor standardavviket for gjennomsnittlig ukentlig temperatur. Trendlinjen viser en negativ lineær trend. Blokkeringsraten er høyest ved -6 °C med en verdi på 0,2302 og nest høyest ved -1°C med 0,2250. Når temperaturen ble inndelt som gjort i delkapittel 4.3.1 ble høyest blokkeringsrate funnet i intervallene -2°C til 2°C og 0°C til 2°C. Figur 21 viser blokkeringsraten plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med trendlinje for temperaturer under frysepunktet og trendlinjen for temperaturer over frysepunktet.



Figur 21: Blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet

4.4.1.1 Lineær korrelasjonsmodell

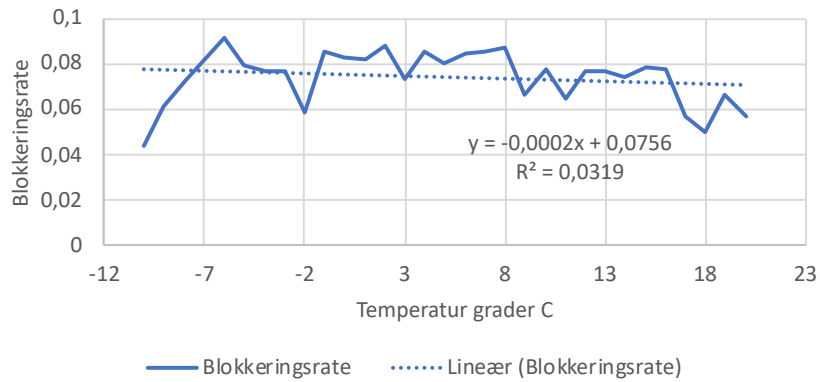
Resultatene for den lineære korrelasjonsanalysen er vist i Tabell 10. Alle trendlinjene gir lineære modeller med signifikansnivå innenfor kravet på 5%. For temperaturer mellom -10°C til 20°C er sikkerheten opp til 98%. For temperaturer over og under 0°C er den opp til 99,95% og 95,0%.

Tabell 10: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.

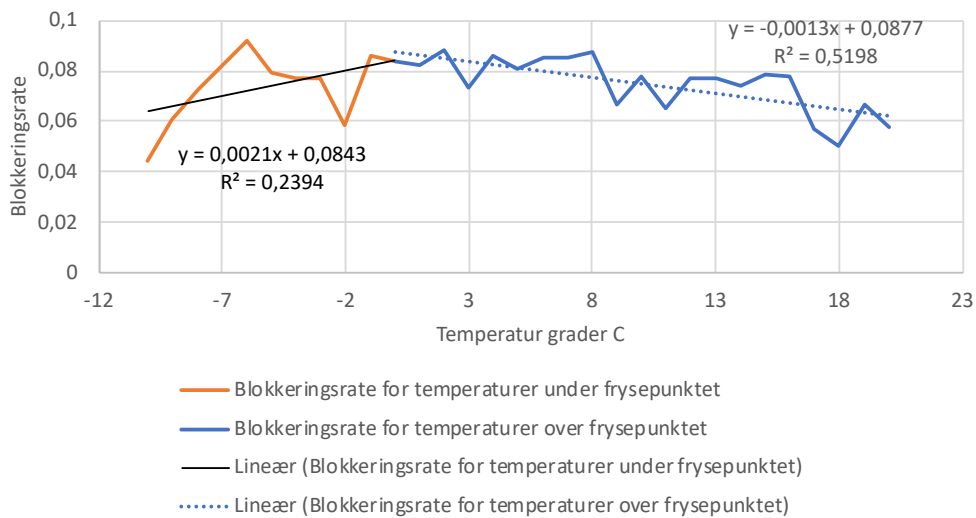
Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
-10°C til 20°C	-0,3955	0,1564	-1,6998	-2,3186	31	Ja
$> 0^{\circ}\text{C}$	-0,8248	0,6804	-1,729	-6,3596	21	Ja
$< 0^{\circ}\text{C}$	0,5972	0,3567	1,833	2,2338	11	Ja

4.4.2 Spillvannsledninger (SP)

Resultatene for spillvannsledningers blokkeringsrate plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur er vist i Figur 22. Figur 23 viser den samme grafen, men med to trendlinjer.



Figur 22: Blokkeringsrate for SP og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.



Figur 23: Blokkeringsrate for SP mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet

4.4.2.1 Lineær korrelasjonsmodell

Den lineære korrelasjonsanalysen viser at kun trendlinjen for verdiene over 0°C gir en god modell med signifikansnivå helt ned til 0,05%. De to resterende trendlinjene gir ikke gode nok modeller i følge kravene som har blitt definert i denne oppgaven.

Tabell 11: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur, SP.

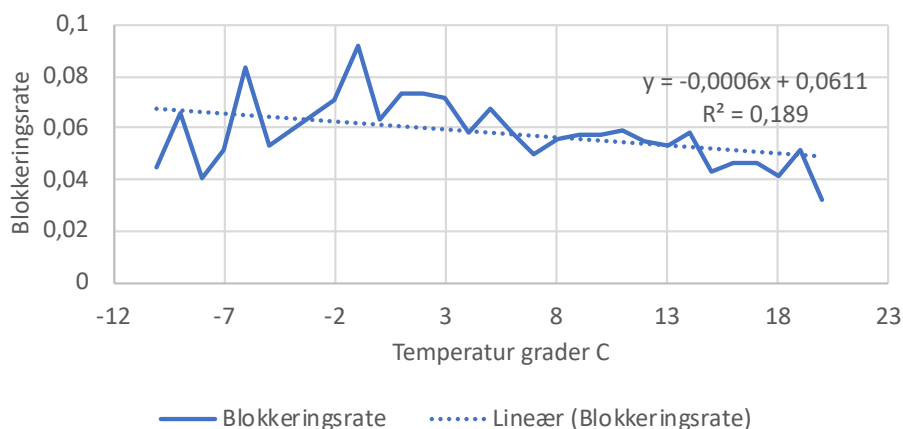
Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
-10°C til 20°C	-0,1785	0,0319	-1,6998	-0,9770	31	Nei
> 0°C	-0,7210	0,5198	-1,729	-4,5351	21	Ja
< 0°C	0,4893	0,2394	1,833	1,6831	11	Nei

4.4.3 Overvannsledninger (OV)

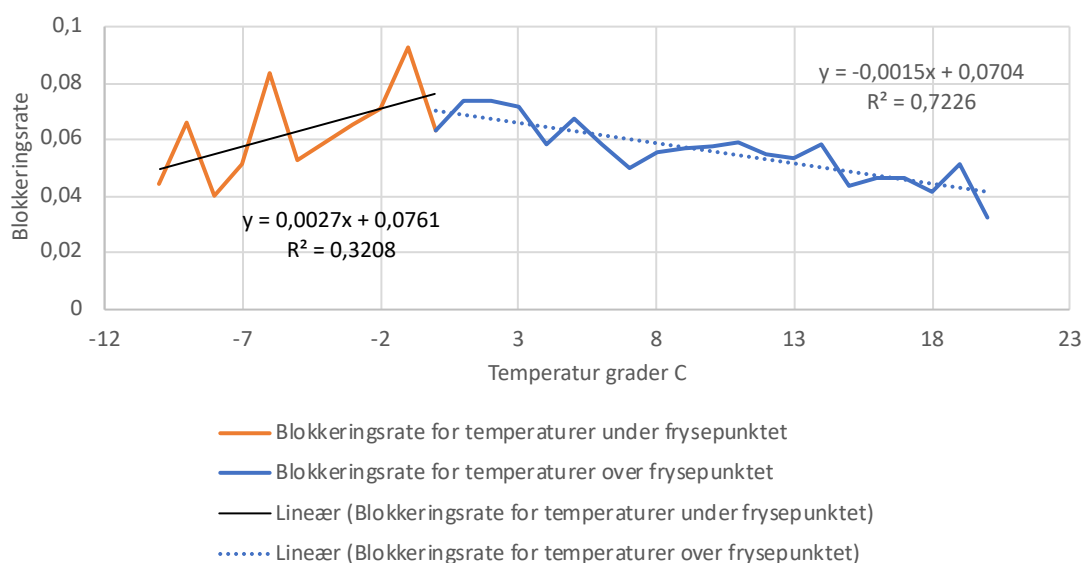
Blokkeringsraten plottet mot gjennomsnittlig ukentlig temperatur gir i likhet med blokkeringsraten plottet mot temperatur ikke en graf med tydelige trender. Det blir derfor ikke gjennomført en analyse for overvannsledninger.

4.4.4 Fellesledninger (AF)

Resultatene for fellesledningers blokkeringsrate plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur er vist i Figur 24. Figur 25 viser den samme grafen, men med to trendlinjer.



Figur 24: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.



Figur 25: Blokkeringsrate for AF mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet

4.4.4.1 Lineær korrelasjonsmodell

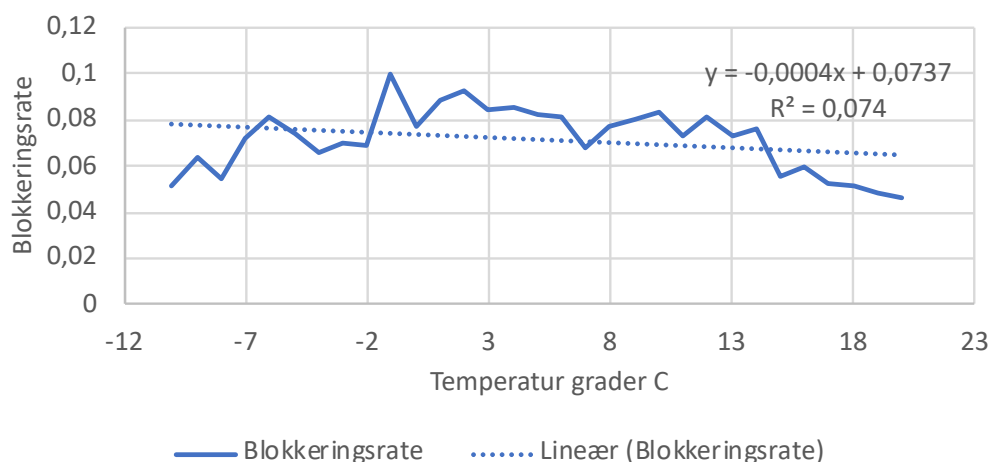
Den lineære korrelasjonsanalysen viser at alle trendlinjer for fellesledninger gir gode modeller. For verdier mellom -10°C til 20°C gir trendlinjen en modell med sikkerhet opp mot 99%. For verdier over og under 0°C er sikkerheten opp mot 99,95% og 95%.

Tabell 12: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur, AF

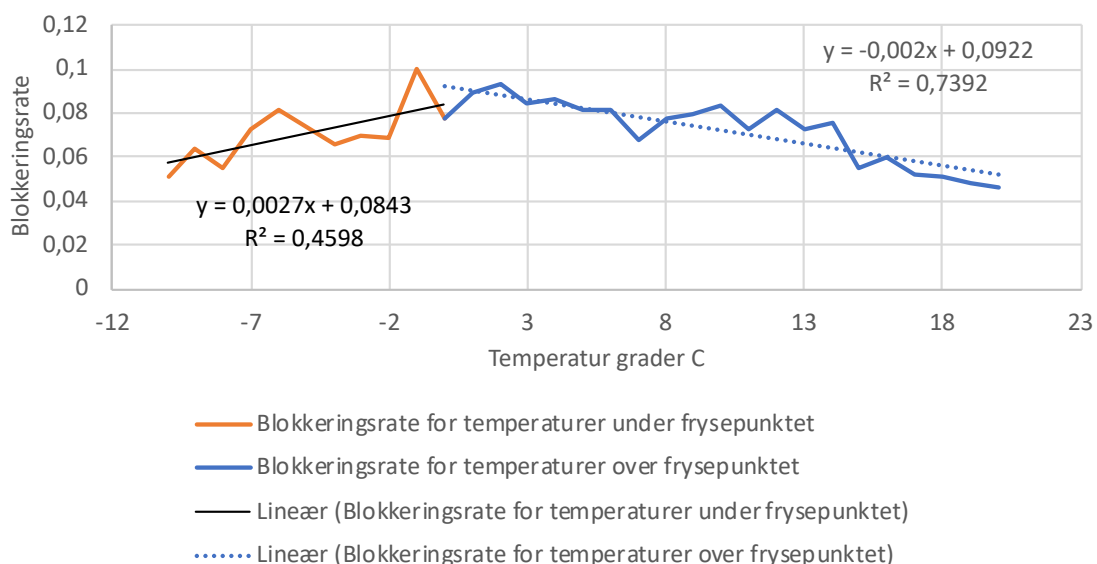
Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
-10°C til 20°C	-0,4348	0,1890	-1,6998	-2,5998	31	Ja
> 0°C	-0,8500	0,7226	-1,729	-7,0344	21	Ja
< 0°C	0,5664	0,3208	1,833	2,0620	11	Ja

4.4.5 Betongledninger

Resultatene for betongledninger blokkeringsrate plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur er vist i Figur 26. Figur 27 viser den samme grafen, men med to trendlinjer.



Figur 26: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur.



Figur 27: Blokkeringsrate for betongledninger mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet

4.4.5.1 Lineær korrelasjonsmodell

Den lineære korrelasjonsanalysen viser at kun trendlinjene i Figur 27 gir gode nok modeller. Trendlinjen for temperaturer over 0°C har en sikkerhet på opp til 99,95% mens for temperaturer under 0°C er sikkerheten opp mot 98,0%.

Tabell 13: Resultater lineær korrelasjonsanalyse for blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur, betongledninger

Temperatur	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
-10°C til 20°C	-0,2721	0,0740	-1,6998	-1,5227	31	Nei
> 0°C	-0,8598	0,7392	-1,729	-7,3381	21	Ja
< 0°C	0,6781	0,3498	1,833	2,7678	11	Ja

4.4.6 Plastledninger

Blokkeringsraten plottet mot gjennomsnittlig ukentlig temperatur gir i likhet med blokkeringsraten plottet mot temperatur ikke en god nok modell. Det blir derfor ikke gjennomført en analyse for plastledninger.

4.5 Framtidig antall blokkeringer på grunn av temperaturøkning

I denne delen av oppgaven vil framtidig blokkeringsrate på grunn av temperaturøkning beregnes for de modellene som har vist seg å være gode modeller i delkapittel 4.3. Tabell 14 viser forventet årlig og sesongenes temperaturøkning i °C som ble brukt i denne oppgaven. Verdiene gjelder for hele Norge samlet og geografiske og lokale ulikheter uteblir derfor.

Tabell 14: Forventet årlig og sesongenes temperaturøkning i grader C for de tre utslippstilfellene. Tallene baserer seg på Hanssen-Bauer et al. (2015)

Sesong	RCP2.6	RCP4.5	RCP8,5
ÅR	1,6	2,7	4,6
Vinter	1,9	3,1	5,4
Sommer	0,7	2,0	3,4
Vår + høst	1,9	3,0	4,6

Metoden beskrevet i delkapittel 3.3 og 3.4 ble brukt til å estimere framtidig antall blokkeringer og endringer. Tabell 15 viser resultatene for analysen av de ulike lineære regresjonslinjene i prosentvis endring. Grunnlinjen er blokkeringsraten på grunn av andre årsaker enn temperatur funnet ved å bruke metoden beskrevet i avsnitt 3.2 g). Denne variere da de lineære regresjonslinjene varierer. *SP*, *OV* og *AF* samlet, *Spillvannsledninger* og *Fellesledninger* representerer resultatene hvor den lineære regresjonslinjen har blitt funnet for temperaturer mellom -13°C og 22°C. T<0 betyr at kun verdier fra og med 0°C og oppover har blitt inkludert

i analysen, noe som kan påvirke resultatet negativt. *Fellesledninger, oppdelt og betongledninger, oppdelt* er analyser hvor både modellen for temperaturer over og under 0°C var god nok. Endring i antall blokkeringer i 2070 ble da funnet ved å bruke to modeller istedenfor kun en modell. Ved 0°C ble modellen som ga estimert framtidig blokkeringsrate nærmest den observerte blokkeringsraten brukt.

Tabell 15: Framtidig prosentvis endring på grunn av temperaturøkning for de ulike utslippsscenarioene.

Prosentvis endring i 2070	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	Grunnlinje
SP, OV og AF samlet	-1,30	-1,77	-2,99	0,15
SP, OV og AF samlet (T<0)	-0,89	-1,58	-3,21	0,13
Betongledninger, oppdelt	-6,17	-9,03	-14,15	0,04
Spillvannsledninger	-1,56	-2,30	-3,61	0,06
Spillvannsledninger (T<0)	-0,77	-1,44	-3,18	0,05
Fellesledninger	-1,56	-2,28	-3,56	0,05
Fellesledninger, oppdelt	-3,53	-5,32	-8,76	0,04

Det er mulig å observere at for alle ledningstyper og alle modellene vil det kunne være en forventet reduksjon i blokkeringer i 2070. For det verste utslippsscenarioene vil reduksjonene være størst. For SP, OV og AF samlet vil en reduksjon på 1,30%, 1,77% og 2,99% kunne forventes for RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5. For spillvannsledninger og fellesledninger er den prosentvise endringen noe større. For analysene hvor både modellene for temperaturer over og under 0°C ble brukt er prosentvis endring tilnærmet dobbelt så stor når fellesledninger vurderes. Det ble derfor valgt å se på reduksjonen for temperaturer over og temperaturer under 0°C, se Tabell 16. For temperaturer under 0°C er reduksjonen størst, noe som virker urimelig da trendlinjen indikerer en positiv trend slik at antall blokkeringer bør gå opp med økende temperatur. Men antall dager vil minke mest om vinteren som kan forklare den store reduksjonen i antall dager under frysepunktet.

For betongledninger er reduksjonen i antall blokkeringer med stor margin størst med en reduksjon på 6,17%, 9,03% og 14,15% for RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5.

Tabell 16: Forskjell i antall blokkeringer og prosentvis endring for temperaturer over og temperaturer under 0° for fellesledninger. Antall blokkeringer bli sammenlignet med totalt antall observerte blokkeringer i observasjonsperioden.

Scenario	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Forskjell i antall blokkeringer over 0°C	-47,9	-83,9	-167,7
Prosentvis endring	-1,42	-2,49	-4,99
Forskjell i antall blokkeringer under 0°C	-97,8	-136,3	-194,9
Prosentvis endring	-9,84	-13,72	-19,61

4.6 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og nedbør

Vektet nedbørsmengde for 2- og 5-års gjentaksintervall for varighet på 24 timer er vist i Tabell 17. Resultatene gir ulike nedbørsmengder for de ulike ledningstypene noe som er å forvente da det er ulik fordeling mellom OV og AF.

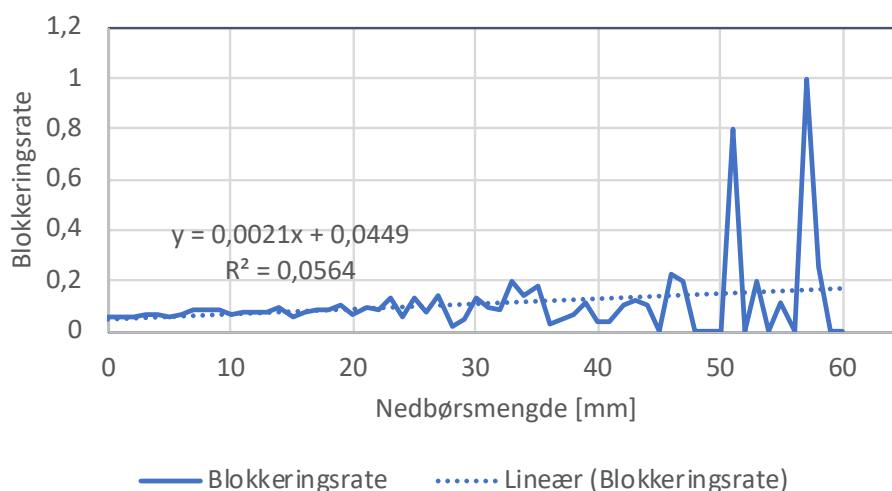
For å begrense omfanget av resultater blir det valgt å kun vise figurer som viser seg å være gode modeller for videre analyse. Resterende figurer er vist i Vedlegg 2.

Tabell 17: Vektet gjentaksintervall for nedbør

Type ledning/ gjentaksintervall	OV og AF	OV	AF
2-års	48 mm	50 mm	48 mm
5-års	60 mm	63 mm	60 mm

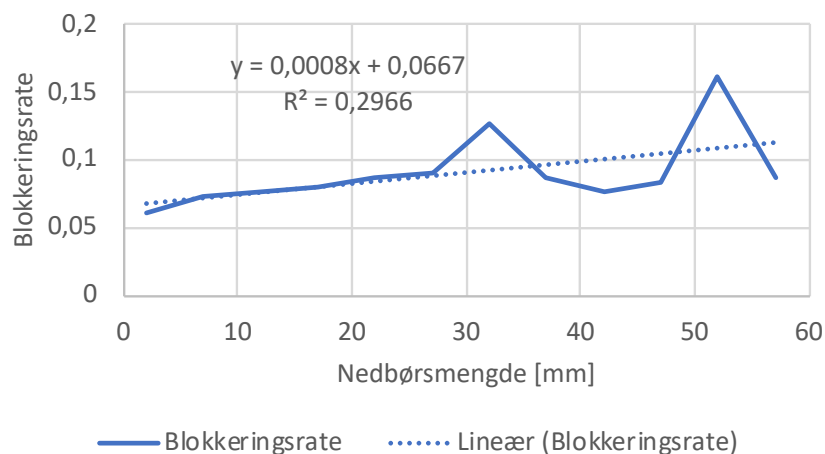
4.6.1 Overvannsledninger (OV) og fellesledninger (AF) samlet

Nedbørsmengden ble plottet mot blokkeringsraten for de ulike gjentaksintervallene. Resultater for 5-års gjentaksintervall er vist i Figur 28. Resultatene indikerer en lineær økende trend i blokkeringsraten for økende nedbørsmengde.

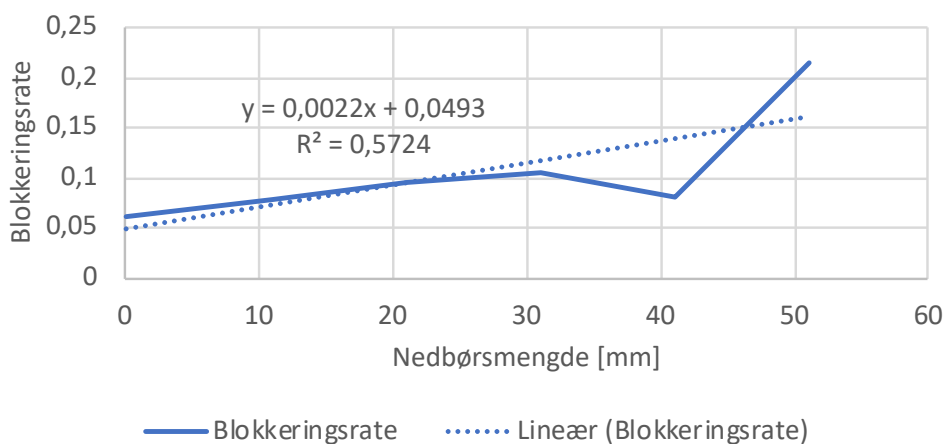


Figur 28: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall

For å få et bedre bilde over hvordan nedbør kan påvirke blokkeringsraten ble nedbørsmengden gruppert slik at 3 og 3 verdier ble lagt sammen. Det betyr at antall dager med en nedbørsmengde og antall blokkeringer per nedbørsmengde for eksempel temperaturer mellom 0 og 3 mm ble lagt sammen og en ny blokkeringsrate ble beregnet. Dette ble gjort for begge gjentaksintervallene. Resultatene ga nye trendlinjer med svært lav R^2 verdi. Det samme ble derfor gjort med 5 og 5 og 10 og 10 verdier. For blokkeringsraten hvor nedbørsverdiene er gruppert etter 10 og 10 verdier velges det å kun se på 5-års gjentaksintervall da det ellers vil bli for få verdier å analysere, når linearitet skal vurderes. Figur 29 viser blokkeringsraten mot nedbør for overvannsledninger og fellesledninger hvor nedbør har blitt begrenset ved å bruke 5-års gjentaksintervall og verdiene har blitt gruppert slik at 5 og 5 verdier ble lagt sammen. Figur 30 viser blokkeringsraten mot nedbør hvor 10 og 10 verdier har blitt gruppert. R^2 -verdien har økt betraktelig for begge grafene.



Figur 29: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.



Figur 30: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier

4.6.1.1 Lineær regresjonsanalyse

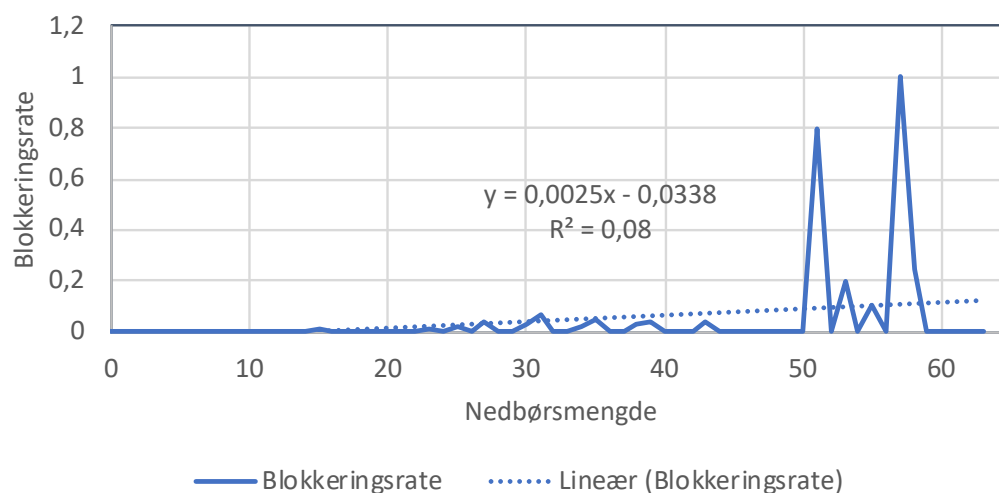
Resultatene for den lineære regresjonsanalysen for blokkeringsrate mot nedbør viser at trendlinjene for gjentaksintervall på 5 år for alle nedbørmengder og grupperinger på 5 og 5 ga gode modeller med signifikansnivå ned til 5%. Også når modellen når 10 og 10 nedbørmengder ble lagt sammen ga en god modell med signifikansnivå 5%.

Tabell 18: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV og AF mot nedbør.

Gjentaksintervall/ gruppering	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkastes?
2-års/ingen	0,2336	0,0546	1,6784	1,6471	49	Nei
5-års/ingen	0,2374	0,0564	1,6715	1,8771	61	Ja
2-års/5 verdier	0,4669	0,2180	1,860	1,4933	10	Nei
5-års/5 verdier	0,5446	0,2966	1,812	2,0535	12	Ja
5-års/10 verdier	0,7566	0,5724	2,132	2,3141	6	Ja

4.6.2 Overvannsledninger

De samme inndelingene som ble brukt for overvannsledninger og fellesledninger samlet ble brukt for å identifisere trender for overvannsledninger. Selv med få observerte blokkeringer for overvannsledninger var det mulig å få en god nok modell for OV. Figur 31 viser blokkeringsraten for overvannsledninger med 5-års gjentaksintervall. En lineær økende trendlinje er mulig å observere selv om R² er svært lav.



Figur 31: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall

4.6.2.1 Lineær regresjonsanalyse OV

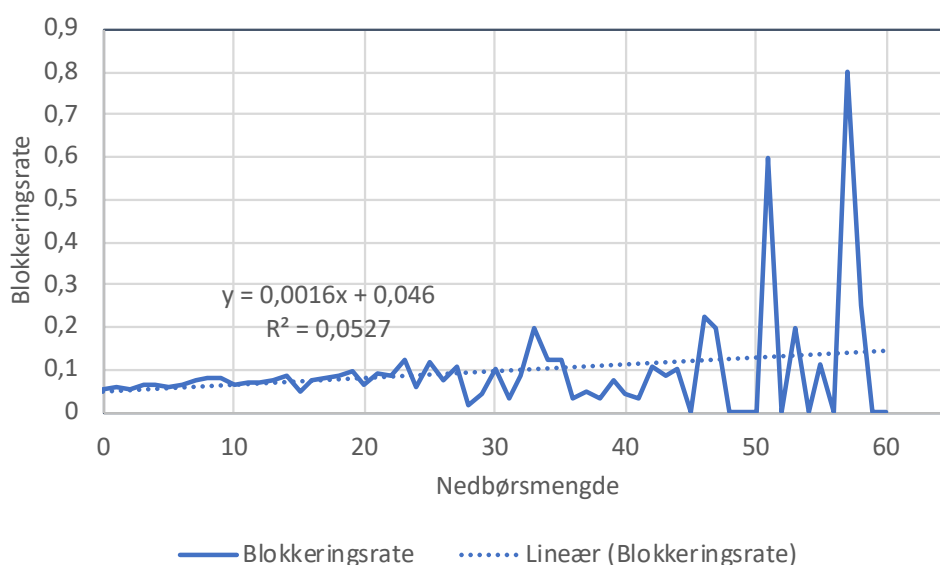
Kun blokkeringsraten plottet mot nedbør for 5-års gjentaksintervall gir en god nok modell for overvannsledninger med en sikkerhet opp mot 98%. De resterende grafene gir ikke lineære modeller med signifikansnivå 5%.

Tabell 19: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV mot nedbør.

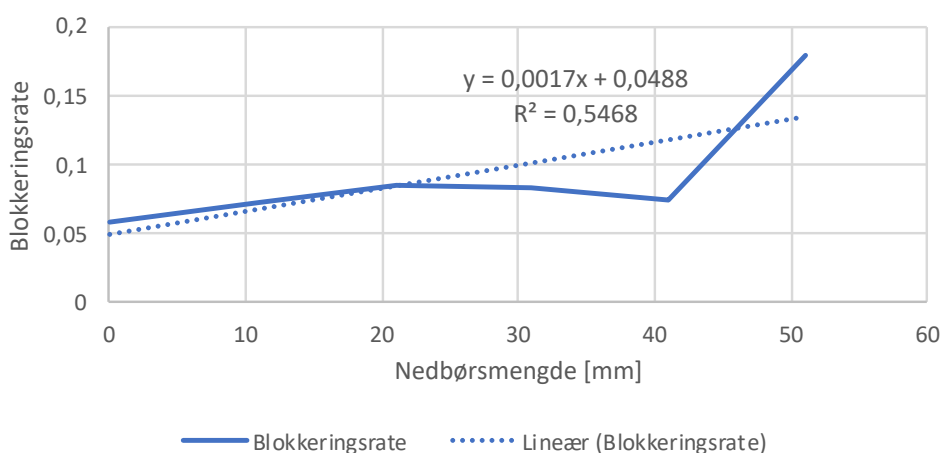
Gjentaksintervall/ gruppering	R	R2	t α	t	Antall observasjoner	Forkaster?
2-års/ingen	0,1635	0,0267	1,6768	1,1601	51	Nei
5-års/ingen	0,2828	0,0800	1,6703	2,3218	64	Ja
2-års/5 verdier	0,3602	0,1297	1,860	1,0921	10	Nei
5-års/5 verdier	0,3964	0,1572	1,796	1,4322	13	Nei
5-års/10 verdier	0,6788	0,4607	2,132	1,8486	6	Nei

4.6.3 Fellesledninger

De samme inndelingene som ble brukt for overvannsledninger og fellesledninger samlet ble brukt for å identifisere trender for fellesledninger. Resultatene for 5-års gjentaksintervall for alle nedbørsverdier er vist i Figur 32. Figur 33 viser blokkeringsraten mot nedbør hvor nedbørsmengden er gruppert i 10 og 10 verdier.



Figur 32: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall



Figur 33: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.

4.6.3.1 Lineær regresjonsanalyse

Blokkeringsrate mot nedbør med 5-års gjentakintervall og 10 nedbørsverdier gruppert gir gode nok modeller for videre analyse. De resterende modellene har for høy usikkerhet.

Tabell 20: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for AF mot nedbør.

Gjentaksintervall/ gruppering	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkaster?
2-års/ingen	0,1758	0,0309	1,6784	1,2240	49	Nei
5-års/ingen	0,2296	0,0527	1,6715	1,8120	61	Ja
2-års/5 verdier	0,3961	0,1569	1,860	1,2200	10	Nei
5-års/5 verdier	0,4063	0,1651	1,812	1,4063	12	Nei
5-års/10 verdier	0,7395	0,5468	2,132	2,1968	6	Ja

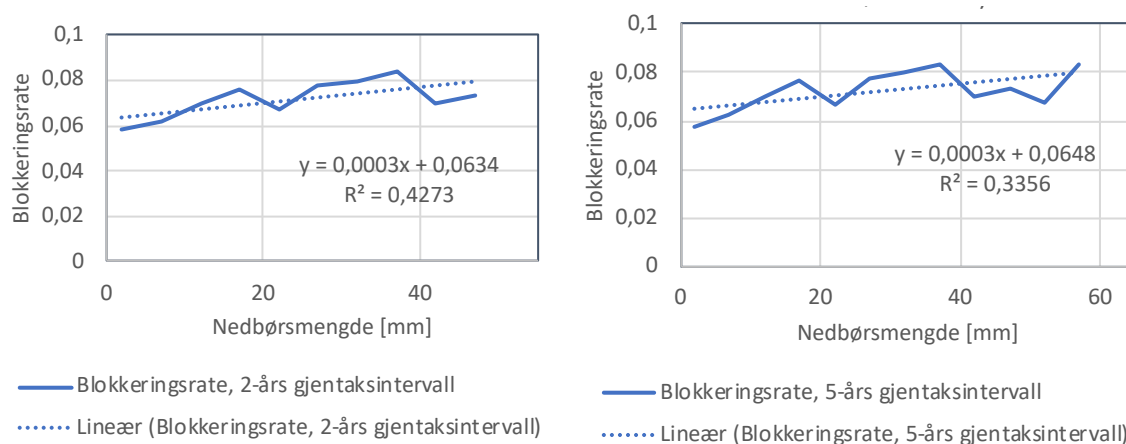
4.6.4 Betong- og plastledninger

For betong- og plastledninger ble det ikke observert noen tydelige trender når effekten av nedbør skulle vurderes. Ingen trendlinjer ga modeller innenfor kravet på 95% sikkerhet.

4.7 Korrelasjon mellom blokkeringsrate og akkumulert nedbør 3 dager før

4.7.1 Overvannsledninger (OV) og fellesledninger (AF) samlet

Resultatene for 2-års og 5-års gjentakintervall hvor nedbør har blitt gruppert i 5 verdier er vist i Figur 34.



Figur 34: Blokkeringsrate for OV og AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års og 5-års gjentakintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.

4.7.1.1 Lineær regresjonsanalyse

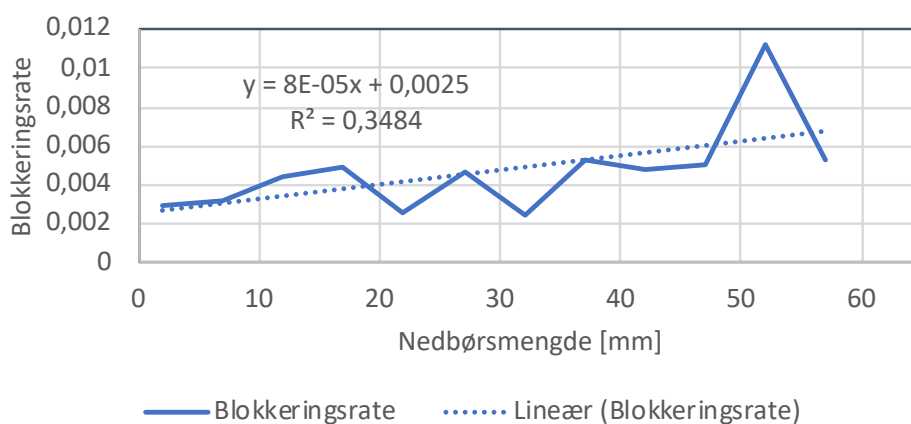
Den lineære korrelasjonsanalysen viser at trendlinjene i Figur 34 gir gode lineære modeller med sikkerhet på 97,5%. De resterende grafene gir ikke modeller med signifikansnivå 5%.

Tabell 21: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV og AF mot 3 dager akkumulert nedbør

Gjentaksintervall/ gruppering	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkaster?
2-års/ingen	0,1890	0,0357	1,6784	1,3198	49	Nei
5-års/ingen	0,2126	0,0452	1,6715	1,6714	61	Nei
2-års/5 verdier	0,6537	0,4273	1,86	2,4430	10	Ja
5-års/5 verdier	0,5793	0,3356	1,812	2,2474	12	Ja
5-års/10 verdier	0,6731	0,4531	2,132	1,8203	6	Nei

4.7.2 Overvannsledninger (OV)

Figur 35 viser resultatet for 5-års gjentaksintervall hvor nedbørmengdene er gruppert i 5 nedbørsverdier.



Figur 35: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentaksintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.

4.7.2.1 Lineær regresjonsanalyse

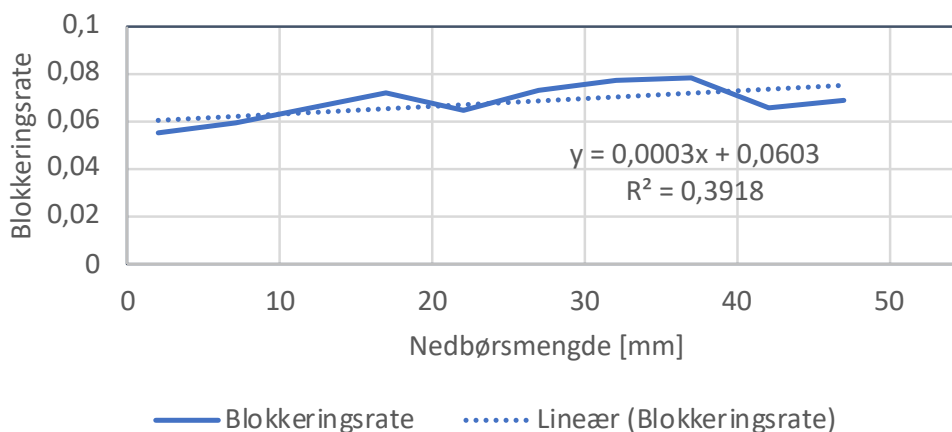
Modellen i Figur 35 gir en god modell med signifikansnivå på 0,025. De resterende modellene har for lav sikkerhet.

Tabell 22: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for OV mot 3 dager akkumulert nedbør

Gjentaksintervall/ gruppering	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkaster?
2-års/ingen	0,0694	0,0048	1,6784	0,4872	51	Nei
5-års/ingen	0,1698	0,0288	1,6703	1,3568	64	Nei
2-års/5 verdier	0,4848	0,2350	1,860	1,5676	10	Nei
5-års/5 verdier	0,5903	0,3484	1,812	2,3126	12	Ja
5-års/10 verdier	0,5931	0,3518	2,132	1,4735	6	Nei

4.7.3 Fellesledninger (AF)

Figur 36 viser 2-års gjentaksintervall hvor nedbør har blitt gruppert i 5 verdier.



Figur 36: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentaksintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.

4.7.3.1 Lineær regresjonsanalyse

Regresjonsanalysen indikerer at modellen i Figur 36 gir en god lineær modell med signifikansnivå 0,025. De resterende modellene har for høy usikkerhet.

Tabell 23: Resultater lineær regresjonsanalyse for blokkeringsraten for AF mot 3 dager akkumulert nedbør

Gjentaksintervall/ gruppering	R	R ²	t _α	t	Antall observasjoner	Forkaster?
2-års/ingen	0,1789	0,0320	1,6784	1,2467	49	Nei
5-års/ingen	0,1779	0,0316	1,6715	1,3885	61	Nei
2-års/5 verdier	0,6259	0,3918	1,860	2,2700	10	Ja
5-års/5 verdier	0,4061	0,1649	1,812	1,4054	12	Nei
5-års/10 verdier	0,6410	0,4108	2,132	1,6701	6	Nei

4.7.4 Betong- og plastledninger

Når blokkeringsraten for betongledninger og blokkeringsraten for plastledninger ble plottet mot nedbør ble det ikke observert noen trender. De blir derfor utelatt i analysen.

4.8 Framtidig blokkeringsrate på grunn av nedbørs økning

Metoden i avsnitt 3.7 ble fulgt for å finne forskjellen mellom antall blokkeringer observert og antall blokkeringer estimert for 2070. Etter at antall dager med kraftig nedbør ble justert og nedbørintensiteten på antall dager med kraftig nedbør ble tilpasset var den totale økningen i totalnedbør for liten i forhold til det som har blitt beskrevet i Hanssen-Bauer *et al.* (2015). Antall dager med ikke-kraftig nedbør ble derfor i første omgang justeres med 3,39% for RCP4.5

og 8,62% for RCP8.5. Totalnedbøren ble så sjekket på nytt og antall dager måtte justeres en gang til, 0,25% for RCP4.5 og 0,65% for RCP8.5.

Tabell 24 viser prosentvis endring mellom framtidig endring og observerte verdier totalt og på grunn av nedbør. For utslippsscenario RCP4.5 og RCP8.5 kan en prosentvis økning på 11,37% og 15,13% forventes når man sammenligner med observerte blokkeringer på grunn av nedbør. Sammenlignes økningen i antall blokkeringer med totalt antall observerte blokkeringer er den prosentvise endringen mye lavere, 0,48% for RCP4.5 og 0,64% for RCP8.5.

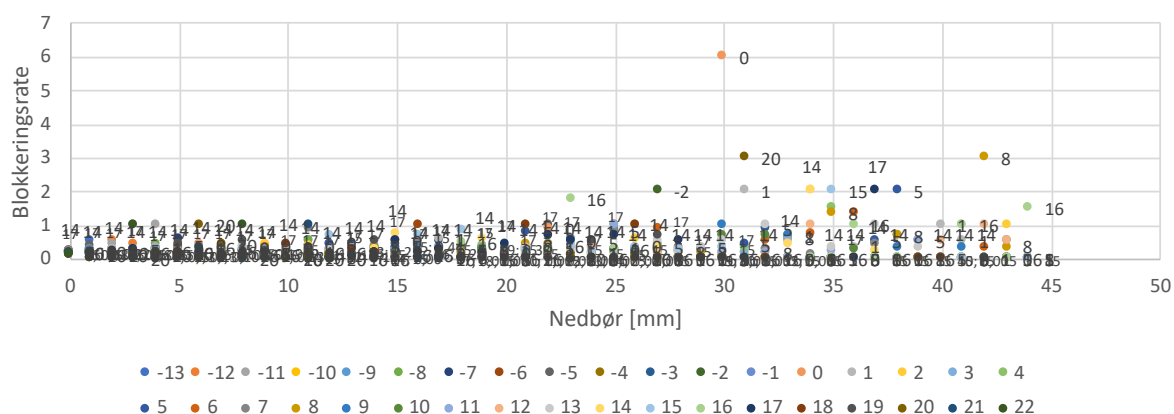
Tabell 24: Framtidig forskjell i antall blokkeringer på grunn av nedbørsøkning. Sammenlignet med totalt historisk antall blokkeringer og historisk antall blokkeringer på grunn av nedbør.

	RCP4.5	RCP8.5
Forskjell i antall blokkeringer (pga. nedbør)	21,24	28,25
Prosentvis endring (pga. nedbør)	11,37	15,13
Prosentvis endring (totalt)	0,48	0,64

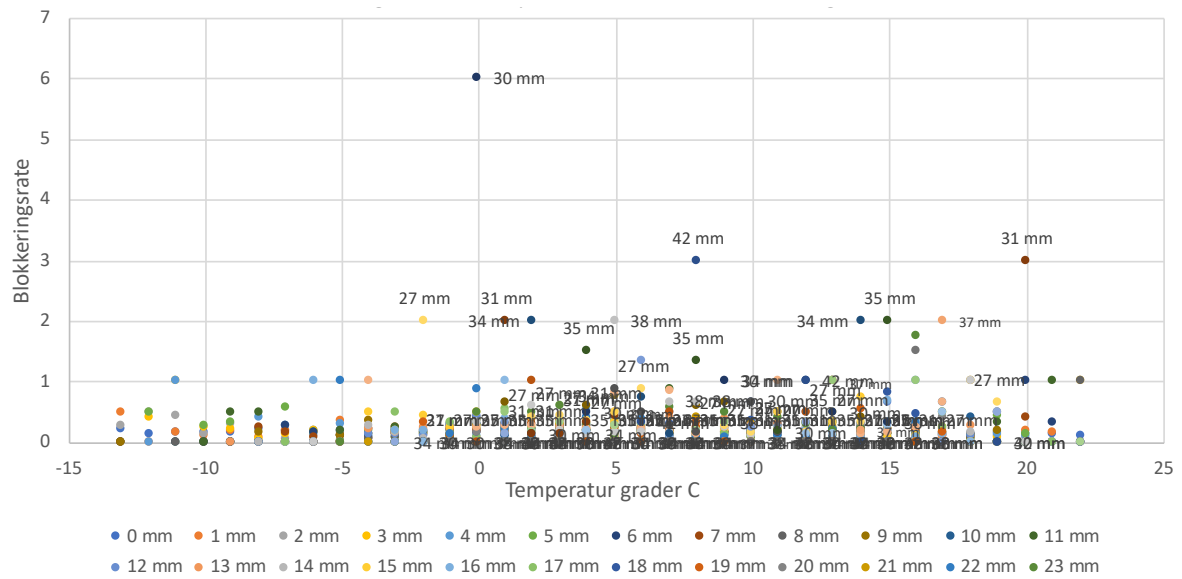
4.9 Multi-korrelasjon mellom blokkeringer, temperatur og nedbør

Figur 37 og Figur 38 viser resultatene når metoden under 3.8 ble fulgt. Figur 37 viser blokkeringsraten plottet mot ulike nedbørsmengder for ulike temperaturer. Det er mulig å observere en økning i blokkeringsratene for høyere nedbør. Blokkeringsraten er høyest for 0 °C og 30 mm nedbør. Fra 23 mm og oppover overstiger noen blokkeringsrater 1,75.

Figur 38 viser blokkeringsraten plottet mot temperatur for ulike nedbørsmengder. Blokkeringsraten er høyest ved 0°C og 33 mm, som samsvarer med resultatet i Figur 37. Nedbørsmengden med blokkeringsrate over eller lik 2,0 varierer mellom 27 mm og 42 mm. Alle bortsett fra en av disse er ved temperaturer over 0°C.

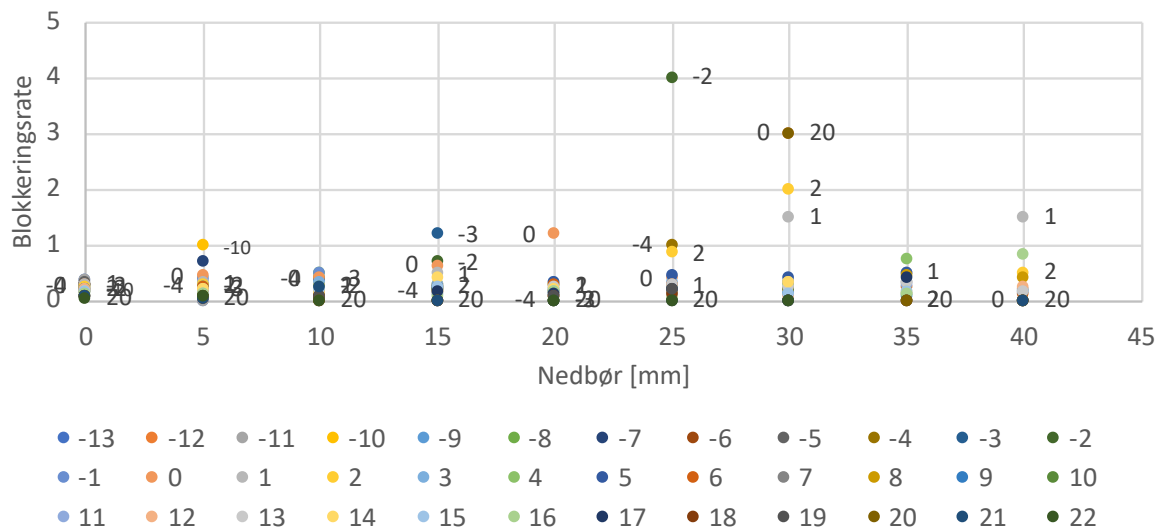


Figur 37: Blokkeringsrate mot nedbør for ulike temperaturer.

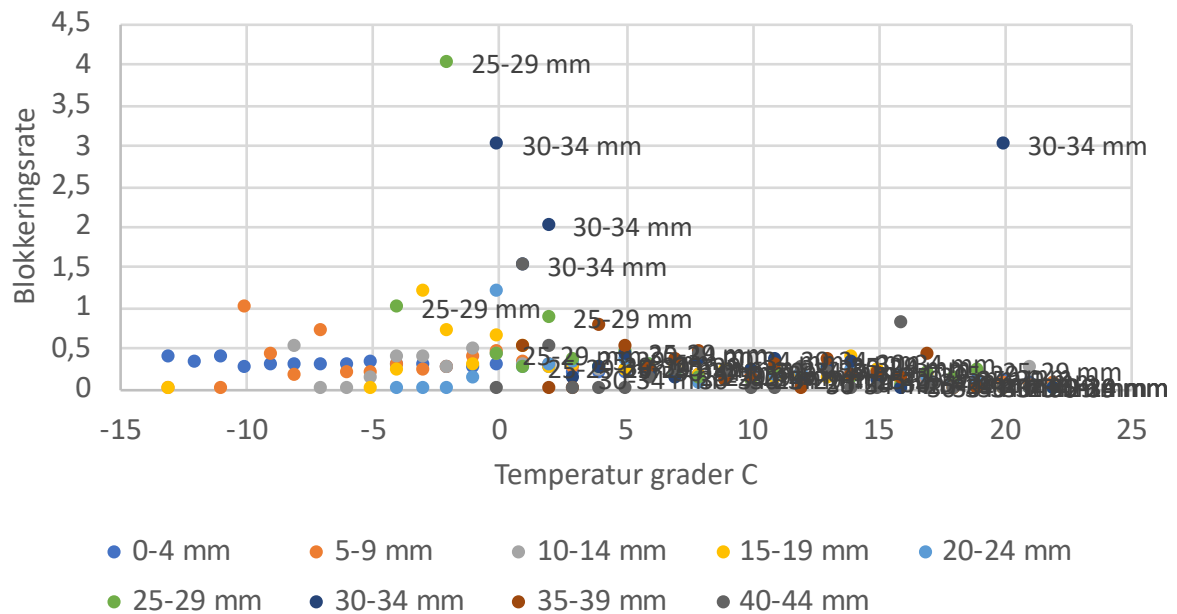


Figur 38: Blokkeringsrate mot temperatur for ulike nedbørsmengder.

Ved å gruppere nedbørsmengden, summere 5 og 5 verdier, er det mulig å observere flere trender. Resultatet er vist i Figur 39 og Figur 40. Figur 39 viser at blokkeringsraten for 30 mm nedbør og 0 °C og 20 °C er den samme. I Figur 40 er det mulig å observere en økt blokkeringsrate sentralisert rundt 0 °C. Nedbørsmengden for verdiene med en blokkeringsrate over 1,5 er 25-29 mm og 30-34 mm.

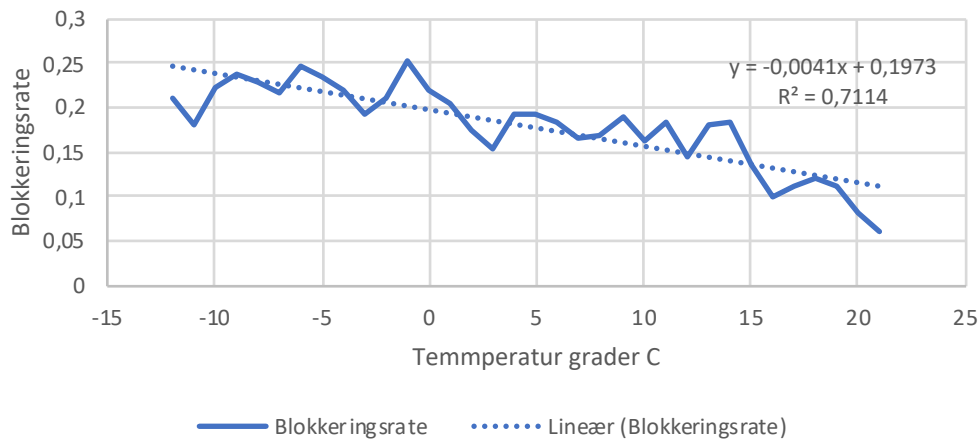


Figur 39: Blokkeringsrate plottet mot nedbør for ulike temperaturer, 5 nedbørsmengder summert.



Figur 40: Blokkeringsrate plottet mot temperatur for ulike nedbørsmengder, 5 nedbørsmengder summert.

Plottes blokkeringsraten mot temperatur for dager med 0 mm nedbør er det mulig å observere en lineær avtagende trend med høy R^2 -verdi, se Figur 41. Gjennomføres en lineær regresjonsanalyse for temperaturer mellom -12°C og 21°C har modellen en sikkerhet på 99,95%.



Figur 41: Blokkeringsrate mot temperatur for dager med 0 mm nedbør.

4.10 Oppsummering resultater

Tabell 25 viser de viktigste resultatene for blokkeringsraten plottet mot daglig temperatur og ukentlig gjennomsnittlig temperatur. En trendlinje indikerer at en samlet trendlinje for temperaturer over og under frysepunktet kunne brukes som modell. Trendlinje $T < 0^{\circ}$ og Trendlinje $T > 0^{\circ}$ indikerer at en trendlinje ble brukt for verdier under $< 0^{\circ}$ og en ble brukt for

verdier over og ga gode modeller med signifikansnivå på minst 5%. For overvannsledninger og plastledninger ble det ikke observert noen tydelige trender.

For resultatene av framtidige blokkeringer på grunn av temperaturøkning er resultatene som representerer virkeligheten best vist i

Tabell 26. *Oppdelt* indikerer at to trendlinjer har blitt brukt.

Tabell 25: Oppsummering av resultater for hvilke ledningstyper som ga gode nok modeller når blokkeringsraten plottes mot daglig og ukentlig gjennomsnittlig temperatur.

Type ledning	Plottet mot	En trendlinje	Trendlinje T<0°	Trendlinje T>0°
OV, AF og SP samlet	Daglig T	X		X
OV, AF og SP samlet	Ukentlig T	X	X	X
AF	Daglig T	X	X	X
AF	Ukentlig T	X	X	X
SP	Daglig T	X		X
SP	Ukentlig T			X
Betong	Daglig T		X	X
Betong	Ukentlig T		X	X

Tabell 26: Oppsummering resultater over framtidige forventet endring (%) for ulike ledningstyper.

Prosentvis endring i 2070	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
SP, OV og AF samlet	-1,30	-1,77	-2,99
Betongledninger, oppdelt	-6,17	-9,03	-14,15
Spillvannsledninger	-1,56	-2,30	-3,61
Fellesledninger, oppdelt	-3,53	-5,32	-8,76

Tabell 27 viser en oversikt over resultatene for blokkeringsraten plottet mot daglig nedbør og 3 dagers akkumulert nedbør. Resultatet fra framtidsanalysen av blokkeringer på grunn av nedbørsøkning indikerer at blokkeringer vil øke med 0,48% og 0,64% for RCP4.5 og RCP8.5.

Tabell 27: Oppsummering av resultater for hvilke ledningstyper som ga gode nok modeller når blokkeringsraten plottes mot daglig og 3 dager akkumulert nedbør..

Type ledning	Plottet mot	Ingen gruppering av nedbør		Gruppering av 5 nedbørsverdier		Gruppering av 10 nedbørsverdier
		2- års	5-års	2- års	5-års	5-års
OV og AF	Daglig N		X		X	X
OV og AF	3 dager akkumulert N			X	X	
AF	Daglig N		X			X
AF	3 dager akkumulert N			X		
OV	Daglig N		X			
OV	3 dager akkumulert N				X	

5. Diskusjon

I litteraturdelen av oppgaven ble flere teorier om blokkeringer og faktorer som kan føre til akutte og kroniske blokkeringer framlagt. Disse teoriene vil nå kobles sammen med resultatene fra analysen. Først vil observerte forhold gjennomgås og så vil framtidige mulige endringer diskuteres.

5.1 Observerte forhold

I denne masteroppgaven var ett av målene å finne ut om det finnes en lignende sammenheng for blokkeringsraten i avløpssystemet og klimaparametere som påvist av blant annet Bruaset og Sægvog (2018) og Pascal Le Gauffre (2013) for brudd i drikkevannsledninger og temperatur.

5.1.1 Temperatur

Som vist i litteraturstudiet tidligere i oppgaven mener Vevatne og Westskog (2007) og Reikvam (2013) at tine- og fryseprosessene som inntreffer når temperaturen varierer rundt frysepunktet kan øke bevegelsen i grunnen. Dette kan påvirker bruddraten for drikkevannsledninger. Resultatene viser at blokkeringsraten for overvann-, spillvann- og fellesledninger samlet er høyest rundt 0°C. Dette indikerer at teorien også kan overføres på blokkeringer. Vurderes resultatet for 10 temperaturer gruppert er blokkeringsraten høyest for temperaturer mellom -2°C og 7°C. Noe som kan bety at blokkeringsraten er noe høyere for verdier over frysepunktet. Vurderes månedene blokkeringene inntreffer for temperaturer mellom -2°C og 7°C, inntreffer flest blokkeringer i april, mars og januar. I månedene april og mars er det stor sannsynlighet for tining av snø, slik at økt overvann kan dra med seg flere partikler, søppel som har samlet seg opp i snøen og lignende inn i systemene. Det indikerer at både tine- og fyseprosesser og snøsmelting påvirker blokkeringsraten.

Sammenlignes resultatet for spillvannsledninger, se Figur 14, og fellesledninger, se Figur 16, er det en mer tydelig økning i blokkeringsraten rundt 0°C for fellesledninger. Også det indikerer at økt avrenning på grunn av tining kan være årsaken til en økt blokkeringsrate da kun fellesledninger påvirkes av overvannsmengden. Det samsvarer med utsagn fra Oslo kommune om at det blir observert mer sand- og grusproblemer når snøen smelter (Rosseland, 2018).

Også multi-korrelasjonsanalysen viser at blokkeringsraten er høyest når det er sannsynlig at nedbør og snøsmelting inntreffer samtidig. Når nedbør kommer ved temperaturer under frysepunktet vil den enten bli liggende på lagring i form av snø eller så vil nedbøren treffe frossen grunn og dermed ikke kunne infiltreres på samme måte (Ugarelli *et al.*, 2010a). Da vil overvannet kunne dra med seg større mengder avfall og partikler da vannmengden blir større.

Resultatene viser at blokkeringsraten avtar for økende og synkende temperaturer med 0°C som høyest punkt. I følge flere kilder påvirker frostlaster bruddraten til et rør (Wu *et al.*, 2010; Xu, Qi og Jin, 2010; Jin, 2010; Pascal Le Gauffre, 2013; Makar, 1999; Bruaset og Sægrov, 2018). Frostlastene vil føre til økt spenning på røret slik at den mekaniske belastningen øker. At blokkeringsraten synker med synkende temperatur for temperatur under 0°C indikerer derimot at teorien om at frostlaster påvirker bruddraten ikke kan overføres til blokkeringer. Vurderes blokkeringsraten mot gjennomsnittlig ukentlig temperatur indikerer resultatene en høyere blokkeringsrate for verdier under frysepunktet, noe som indikerer at blokkeringsraten kan bli påvirket av frostlaster. Men også for disse modellene er blokkeringsraten høyest rundt null grader. Det er allikevel mulig at frostlaster vil kunne påvirke blokkeringer gjennom en utsatt sammenheng. Om en avløpsledning får knusning eller delvis kollapser på grunn av frostlaster vil det ikke nødvendigvis bli oppdaget da det ikke behøver å resultere i en tilstopning. Systemet vil fortsatt kunne ha tilstrekkelig funksjonsevne selv om tverrsnittet har blitt redusert eller overflatens ruhet har økt. Men mest sannsynlig vil endringen i rørets struktur og tverrsnittforringelsen på grunn av frostlaster føre til økt sannsynlighet for tilstopning ved en mer forhold som er mer gunstig for en blokkering. Slike forholdt kan være snøsmelting, tilførsel av partikler, søppel, fett og lignende. Med dette kan det også antas at det samme gjelder for alle prosesser som fører til mekanisk nedbrytning, tine- og fryseprosessene, strekkspenninger på grunn av temperaturutvidelse og mer.

Sammenlignes betong- og plastledninger er det tydelig at betongledningene er mer utsatt for trendene beskrevet over. For plastledninger er det derimot ikke mulig å se en tydelig sammenheng mellom blokkeringsraten og temperatur. Den lineære trendlinjen har en stigning på tilnærmet null, noe som indikerer at temperatur ikke påvirker blokkeringsraten til plastledninger. Materialet er svært duktil og tåler derfor høye laster uten å gå i brudd. Det har også en høy utvidelseskoeffisient slik at det raskt bør oppstå strekkspenninger ved lave temperaturer, men analysen indikerer ingen slik trend. Betong er et mer sprøtt materiale og vil derfor være mer følsom. Betongledninger vil derfor også være mer utsatt for knusning i perioder med frost som kan være en av grunnene til at betong følger den over beskrevne trenden bedre. Dette stemmer god overens med Ugarelli *et al.* (2010b) sin påstand om at betongledninger er kritiske kandidater for blokkeringer.

5.1.2 Nedbør

Når blokkeringsraten for overvanns- og fellesledninger samlet plottes mot nedbørsmengdene er det mulig å se en lineær økende trend med økende nedbørsmengde, se Figur 28. For nedbør opp mot 7 mm indikerer resultatene at nedbør har tilnærmet ingen påvirkning på blokkeringsraten. Blokkeringsraten er omtrent det samme som for dager med ingen nedbør, 0,059. Årsaken til dette kan være at infiltrasjonskapasiteten er stor nok slik at vannet ikke vil ende opp i overvanns- og fellesledningene. En annen grunn kan være at mengde overflatevannet er såpass lav at det ikke har kraft nok til å dra med seg store mengder med partikler og avfall slik at forholdene blir gunstig for tilstopping. For nedbørsmengder over 10 mm er det mulig å observere en større variasjon i blokkeringsraten, men variasjonen er ikke nevneverdig før nedbørshendelsen overskrider 20 mm. Mengde partikler og avfall som dras med i systemet øker med store nedbørsmengder. Men siden antall dager med slike nedbørsmengder er få er den vanskelig å si noe om den totale effekten av den. Når blokkeringsraten for overvanns- og fellesledninger samlet plottes mot grupperte nedbørsverdier, se Figur 29 og Figur 30, er det mulig å se en mer tydelig trend som beskriver en økende blokkeringsrate med økende nedbørsmengde. Resultatene i denne analysen indikerer derfor at det er en sammenheng mellom blokkeringsraten og nedbørsmengde. Dette stemmer overens med Rosseland (2018) og Ugarelli *et al.* (2010b) sine påstander om at store nedbørsmengder og et fuktig klima innvirker på blokkeringsraten.

Sammenlignes overvannsledninger og fellesledninger kan resultatene indikere at overvannsledninger påvirkes i større grad av nedbørsmengden enn fellesledningene. Særlig når blokkeringsraten kobles opp mot 3 dager akkumulert nedbør er det synlig at trendlinjen for overvannsledninger påvirkes i større grad siden trendlinjen har høyere stigningstall, se Figur 35 og Figur 36. Men vurderes høyest blokkeringsrate så er blokkeringsraten for overvannsledninger mye lavere enn for fellesledninger. Det indikerer at fellesledninger er mer utsatte for tilstopping selv om overvannsledninger påvirkes mer av store nedbørsmengder. Begge ledningstypene vil være utsatt for mekanisk erosjon på grunn av sandtransport og vil kunne tilføres søppel og sedimenter fra overvannet. En ulikhet er at vannføringen i overvannsledninger ikke vil være til stede i tørrværsperioder, mens det alltid vil være noe vannføring i fellesledningen. Overvannsledninger vil derfor å større grad være utsatt for avleiring. Tverrsnittet vil da lettere kunne reduseres. I tillegg er det mindre vanlig å dimensjonere overvannsledninger for selvrensing (Miljø-blad, 2015). Disse faktorene vil kunne føre til en kapasitetsforringelse som vil kunne påvirke systemet ved store nedbørsmengder, noe

som kan være grunnen til den økte blokkeringsraten ved nedbørsmengder større enn 50 mm i Figur 31. En annen viktig forskjell er at fellesledninger er mer utsatt for fett, hygieneartikler, organiske materiale og annet som følger med spillvannet. Dette vil diskuteres mer i neste avsnitt.

5.1.3 Avløpsvannets sammensetning

Flere kilder er enig om at funksjonen til avløpsledningen påvirker blokkeringsmønsteret til ledningen. Separate og kombinerte ledninger påvirkes ulikt av ulike faktorer. Det er i litteraturen en enighet om at fett og annet avfall som ender opp i spillvannsledningen og fellesledningen er en viktig bidragsyter til blokkeringer. Kombinasjonen av fett og Wet Wipes har blitt mer og mer vanlig og skaper store problemer i avløpssystemet. Selv om krav til selvrensing er innfridd vil disse kunne føre til blokkeringer. I følge resultatene er det registrert flest blokkeringer i spillvannsledninger, 54,29%. Siden denne type ledning kun blir utsatt for spillvann (eventuelt infiltrasjonsvann) kan resultatet indikere at spillvannsammensetningen spiller en svært stor rolle når tilstoppinger skal vurderes.

42,99 % av de registrerte blokkeringene er registrert på fellesledninger. I fellesledninger blir spillvannet blandet med overvann slik at vannføringen vil kunne øke i perioder. En negativ effekt ved å tilføre spillvannet overvann er at sand/grus, søppel og annet tilføres systemet. Kroniske blokkeringer blir mer sannsynlige. Flere kilder mener at fellesledninger er mer utsatte for blokkeringer enn spillvannsledninger på grunn av akkurat dette. Resultatene derimot viser at det er færre blokkeringer på fellesledninger. En grunn til dette kan være at overvannet øker vannføringen i perioder slik at ledningen kan bli trykksatt. Trykket vil da i større grad kunne dra med seg og løsne diverse som har mulighet for å blokkere ledningen. En annen grunn kan være at omfanget av fett og annet i spillvannet blir undervurdert.

5.2 Blokkeringer i 2070

Et annet mål i denne oppgaven var å finne ut hvordan framtidige klimaendringer vil kunne spille inn på blokkeringsraten og blokkeringer i 2070. Analysen indikerer en forventet reduksjon i antall blokkeringer for økt temperatur for alle tre utslippsscenarioene og for ulike ledningstyper.

For SP, AF og OV samlet vil en reduksjon på 1,30%, 1,77% og 2,99% være mulig å forvente for utslippsscenarioene RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5. Korrelasjonen mellom blokkeringsrate og temperatur for verdier mellom -13°C og 22°C ble da brukt da trendlinjen ga en god lineær modell, se Figur 12. For spillvannsledninger og fellesledninger var den forventede reduksjonen

noe høyere, se resultatene i Tabell 15. Det kan virke som om overvannsledningene påvirker resultatet for SP, AF og OV samlet og at det dermed kan være lurt å kun vurdere fellesledninger og spillvannsledninger når temperatur vurderes. For spillvannsledninger er den forventede reduksjonen 1,56%, 2,30% og 3,61% for de ulike utslippsscenarioene og for fellesledninger er den 1,56%, 2,28% og 3,56%. For fellesledninger var det også mulig å bruke en modell med to trendlinjer hvor begge var innenfor standardavviket på 5%, se Figur 17. En trendlinje representerte verdiene under 0°C og den andre verdiene over 0°C. Resultatene viser at ved å bruke to trendlinjer vil reduksjonen i antall blokkeringer kunne øke til 3,53%, (RCP2.6), 5,32% (RCP4.5) og 8,76% (RCP8.5). Da tar modellen mer hensyn til reduksjonen i antall dager for temperaturer under 0°C og dermed reduksjon i antall blokkeringer som vil inntreffe. For temperaturer over 14°C vil antall dager øke, så flere blokkeringer vil kunne inntreffe, se Figur 7. Modellen med to trendlinjer gir derfor et mer realistisk resultat. Det vil derfor være en større forskjell mellom spillvannsledninger og fellesledninger, noe som virker rimelig. For betongledninger er det også mulig å bruke en modell med to trendlinjer, men for de resterende ledningstypene er modellene ikke gode nok.

I følge Vevatne og Westskog (2007) vil vi i framtiden få flere tine- og fryseprosesser. Det vil si at vi vil få flere dager med temperaturer hvor blokkeringsraten er høyest. Med det kan man anta at blokkeringer i framtiden ikke kun vil reduseres på grunn av en temperaturøkning. I generell økning av temperatur om vinteren vil kunne føre til mindre snølagring slik at vårsmeltingen vil bli mindre omfattende. Det vil kunne være med på å redusere blokkeringer ved at overvannsmengden blir mindre om våren. I tillegg har vi i dag mer kunnskap om materialer, installasjon og vedlikehold slik at framtidens ledninger bør ha bedre forutsetninger, selv om nedbrytningen vil kunne øke.

Denne analysen har vist at for utslippsscenario RCP4.5 og RCP8.5 kan en prosentvis økning på 11,37% og 15,13% forventes på grunn av nedbørsøkning hvis endringen sammenlignes med antall blokkeringer på grunn av nedbør. Sammenlignes økningen i antall blokkeringer med totalt antall observerte blokkeringer er den prosentvise endringen mye lavere, 0,48% for RCP4.5 og 0,64% for RCP8.5. Hovedgrunnen til den lave økningen er høyst sannsynlig at det er svært få dager med kraftig nedbør. At den totale nedbøren øker vil ikke påvirke blokkeringsraten i stor grad da det er store nedbørsmengder som drar med seg mest inn til avløpssystemene.

Litteraturstudiet har vist at en hovedutfordring i norske kommuner er kunnskap om vedlikehold av avløpssystemet (Fossberg, Rydningen og Merschbrock, 2017). Det er dermed et stort

forbedringspotensial rundt vedlikehold som kan påvirke antall blokkeringer i framtiden. Samtidig har det blitt observert en reduksjon i antall blokkeringer per år selv om mengde fett har økt de siste årene. I følge Lindholm (2016) tyder mye på at utskiftningen av gamle rør kan være årsaken til reduksjonen. Framtidsperspektivet påvirkes dermed i stor grad av hvordan kommuner velger og har mulighet til å drifte systemene sine. En økning i både vedlikehold og fornying vil kunne være med på å minke antall blokkeringer i framtiden.

5.3 Feilkilder og usikkerheter

Det er flere feilkilder og usikkerheter i denne analysen som er viktig å ta i betraktning. En av usikkerhetene er at omtrent 17% av de registrerte blokkeringene ikke kunne kobles opp mot ledningsinformasjon. I analysen av temperatur ble det valgt å inkludere denne dataen likevel for OV, AP og AF samlet, men for nedbør ble det valgt å utelate den. Dette kan medføre at noen av blokkeringene ikke er registrert på avløpsledninger, men for eksempel drikkevannsledninger. Analysen vil da vise en forverret situasjon. Materiale og alder var det heller ikke mulig å koble blokkeringen opp mot, slik at det for betongledninger potensielt har vært flere registrerte blokkeringer. Analysen viser da en for optimistisk situasjon.

En svakhet når nedbørsmengde analyseres er at døgnverdier brukes for nedbørstilfellet. Ved å bruke verdier med så høy varighet er det vanskelig å vurdere intensiteten på nedbørstilfelle. Faller det 20 mm nedbør på 3 timer eller på 23 timer vil det påvirke avløpssystemet svært ulikt. For det første tilfellet vil vannet ikke rekke å trekke ned i grunnen og mer vann vil tilføres ledningsnettlet samtidig. For det andre tilfellet vil overvannet lettere kunne infiltreres slik at systemet ikke vil tilføres like mye vann. I tillegg vil mengde vann i systemet ved et gitt tidspunkt reduseres.

En annen svakhet når nedbørsmengdens effekt på blokkeringsraten vurderes er at sesongvariasjonene ikke inkluderes i analysen. Dette kan påvirke resultatet i stor grad da nedbøren om våren kan inntreffe samtidig som snøsmeltingen. Dette vil påvirke avrenningen og dermed overvannsmengden i stor grad. Økt nedbør om vinteren vil kunne påvirke blokkeringsraten om våren når snøen smelter.

En ulempe ved bruk av all registrert data er at forhold som trafikk, grunnforhold, og lignende uteblir. Det har ikke blitt tatt hensyn til plassering av ledning eller hvor mange eiendommer som er tilknyttet systemet slik at vannføring blir oppgitt. Analysen av Trondheim kommune og hvor blokkeringene er plassert viser at blokkeringene er fordelt jevnt over byen, men andre forhold er ikke oppgitt. Det gjør det vanskelig å vurdere om årsaken til en blokkering, ved

akutte blokkeringer, er nedbør/temperatur eller andre årsaker. Noe som kan gjøre det vanskelig å finne trender ved at flere blokkeringer også påvirkes av andre faktorer.

I følge litteraturstudiet påstår flere kilder at økt temperatur vil kunne ført til økt nedbrytning av rørmaterialer. Også økt biologisk aktivitet vil kunne bidra til nedbrytning og i betongledninger vil sulfatkorrosjonene kunne øke. I denne analysen har ikke den potensielle økningen i nedbrytning blitt inkludert i beregningene. Det er vanskelig å kunne inkludere økt nedbrytning på grunn av økt temperatur da en eventuelt akutt blokkering vil kunne inntreffe når røret blir utsatt for en større belastning som ikke er avhengig av faktoren som fører til økt nedbrytning.

I følge Bruaset og Sægrov (2018) er det vanlig i norske kommuner å bruke sommermånedene på å lete etter ulike feil i vannforsyningssystemet. Det øker sannsynligheten for at blokkeringer kan bli oppdaget på sommeren og ikke på vinteren. Det kan påvirke resultatet ved at flere blokkeringer blir registrert på varmere temperaturer enn ved kaldere.

Klimaframskrivningene som har blitt benyttet i denne oppgaven fører med seg store usikkerheter. Det er vanskelig å forutsi nøyaktig hvordan de sensitive klimafaktorene vil reagere på økt klimautslipp. Usikkerhetene er beskrevet i detalj i Klima i Norge 2100 rapporten (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015).

Ved å bruke gjennomsnittlige og vektete verdier for nedbør og temperatur for de 8 kommunene er det ikke mulig å observere lokale trender i de ulike kommunene.

Summen av disse svakheten og usikkerhetene fører til at resultatene kun blir en tilnærming til virkeligheten. Man bør ytterligere utføre lokale vurderinger tilpasset enhver situasjon om man skal benytte seg av tallene i denne oppgaven.

5.4 Videre arbeid

Denne analysen ble gjennomført på 8 kommuner samlet. Det gjør at flere viktige faktorer blir utelatt og kun gjennomsnittlige verdier for nedbør og temperatur blir brukt. Om mengde data tillater det, ville det ha vært spennende å se på blokkeringer for hver kommune. Kanskje andre trender vil bli synlige.

I følge Hafskjold (2009) er kummer svært viktige for den hydrauliske kapasiteten i et avløpssystem og de blir i en del sammenhenger undervurdert. En studie gjennomført i Trondheim viste at omtrent 20% av blokkeringene inntreffer i kummer. Dette er mye når man vurderer lengden til det totale systemet (Hafskjold *et al.*, 2004). Utforming av kummen spiller en stor rolle når det kommer til energitapet kummen kan føre til. Det ville vært interessant å se

på blokkeringene som oppstår i kummer og hvordan klimatiske faktorer påvirker disse. På grunn av omfanget av resultater ble det valgt bort å gjennomføre en slik analyse.

6. Konklusjon

I denne oppgaven ble det gjennomført en litteraturstudie om blokkeringer i avløpsnett og faktorer som påvirker tilstoppinger. I tillegg har nedbør og temperatur sin effekt på tilstoppinger i avløpssystemet blitt analysert gjennom en kvantitativ analyse av blokkeringsdata i 9 norske kommuner. Noen viktige funn er listet nedenfor:

- For fellesledninger og overvannsledninger er blokkeringsraten høyest for temperaturer rundt frysepunktet. Blokkeringsraten avtar for temperaturer under og over 0°C. Mye indikerer at snøsmelting påvirker denne blokkeringsraten.
- Spillvannsledninger og fellesledninger påvirkes i stor grad av fett på grunn av matavfall og hygienisk avfall som kastes i toalettet.
- Det har blitt registrert flest blokkeringer for spillvannsledninger. Blokkeringsraten for spillvannsledninger er høyere enn for fellesledninger når blokkeringsraten plottes mot temperatur. En begrunnelse kan være at fellesledninger kan til tider bli trykksatte på grunn av store nedbørsmengder som fører til ”spyling” av rørene.
- Betongledninger er mer utsatte for blokkeringer enn plastledninger. En grunn til dette kan være alderen på rørene, men også ruheten og sprøheten er høyere noe som øker sannsynligheten for kloakkstopp.
- Blokkeringsraten er relativt jevn for nedbørshendelser under 20 mm. Overstiger nedbøren 20 mm vil blokkeringsraten variere i større grad.
- Analysen viser at blokkeringsraten øker med økende nedbørsmengde.

Korrelasjonene mellom temperatur og blokkeringsraten har blitt funnet og den statistiske usikkerheten har blitt evaluert. Modellen for SP, AF og OV samlet har en R^2 -verdi lik 0,2062 noe som er lavt, men gjennom den statistiske korrelasjonsanalysen kan det fastslås at modellen har en sikkerhet på 99,5%. Resultatene viser at blokkeringsraten er høyest rundt frysepunktet. Litteraturstudiet og analysen indikerer at snøsmelting kan være en grunn til det, da særlig for fellesledninger. Også økt bevegelse i grunnen og frostlaster som øker belastningen kan påvirke blokkeringsraten men denne årsakssammenhengen er vanskelig å påvise da blokkeringer kan oppstå ukesvis/månedsvise etter at frosten eller økt bevegelse har påvirket rørets struktur. Avløpsrøret kan ha god funksjonsevne helt til det oppstår forhold som er gunstige for tilstopping, som for eksempel store nedbørstilfeller, vårrengjøring eller snøsmelting. Dette stemmer godt overens med litteratur som påstår at blokkeringer øker ved store nedbørsmengder.

Korrelasjonen mellom nedbør og blokkeringsraten indikerer en økende blokkeringsrate med økende nedbør, men R^2 -verdien er svært lav når raten plottes mot daglige nedbørsverdier.

Plottes den derimot mot grupperte verdier er det mulig å se en mer tydelig økning i blokkeringsraten med økende nedbør. Hovedgrunnen til den økte blokkeringsraten ved høye nedbørsverdier er at større mengder med overvann har mer slepekraft til å dra med seg partikler, søppel og annet ned til avløpssystemet, noe som er gunstig for blokkeringer.

Resultatene viser at i 2070 vil økt temperatur kunne føre til en reduksjon i blokkeringer på 1,56%, 2,30% og 3,61% for utslippsscenarioene RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5 for spillvannsledninger. For fellesledninger vil reduksjonen være større med 3,53%, 5,32% og 8,76% for de ulike scenarioene. Analysen ga ingen gode resultater for overvannsledninger. Forskjellen mellom spillvannsledninger og fellesledninger kommer høyst sannsynlig av at fellesledninger er utsatte for sand/grus, søppel og annet som overvannet drar med seg. Når temperaturen øker i framtiden vil antall dager øke for varmere temperaturer og dermed vil blokkeringsraten kunne gå ned i større grad.

Resultatene for framtidig nedbørsøkningen vil kunne øke blokkeringsraten med omtrent 0,5% for RCP4.5 og RCP8.5. Den lave økningen er en konsekvens av få dager med kraftig nedbør. Selv om antall dager med kraftig nedbør vil øke i framtiden vil det ifølge denne analysen ikke påvirke blokkeringer i stor grad.

Da flere faktorer ikke er inkludert i denne oppgaven er det relativt store usikkerheter rundt resultatet. Hvordan den økte temperaturen øker nedbrytningen eller hvordan økt nedbør vil endre grunnvannstanden og dermed grunnforholdene er det ikke lett å forutsi. I tillegg spår flere kilder at det i framtiden vil være flere perioder hvor temperaturen varierer rundt null grader slik at tine- og fryseprosesser vil øke. Siden blokkeringsraten er høyest rundt frysepunktet vil det kunne påvirke blokkeringsraten i stor grad.

Selv om den totale effekten av temperatur- og nedbørsøkningen vil kunne føre til en reduksjon i antall blokkeringer i framtiden vil spillvannssammensetningen påvirke tilstoppinger i større grad. Om avløpsvannets sammensetning innen 2070 har blitt mer fettfri eller om konsentrasjonen av fett kommer til å øke er en viktig faktor for framtidige blokkeringer. Kampanjene som jobber for å opplyse befolkningen mot å kaste matavfall, hygieneprodukter og annet i toalett/vask kan i framtiden redusere sannsynligheten for blokkeringer i spillvanns- og fellesledninger. Men jeg tror det må enda større kampanjer til og flere må inkluderes. Ved å innføre regler i borettslag og markere hygieneprodukter med advarsler om at det ikke skal kastes i toalettet kan man framskynde kunnskapsprosessen. Også videreutdanning av arbeidere i kommunen om vedlikehold av rør og større investeringer slik at det er økonomisk mulig å gjennomføre arbeidet kan forbedre framtidige perspektiver.

Hvis befolkningen i framtiden endrer kastedferd, klimaendringene inntreffer og kommunene øker vedlikehold av avløpsrør og får mer økonomisk spillerom tror jeg at fornyelsesbehovet vil kunne reduseres i framtiden. Ved å inkludere disse faktorene i hovedplanen for kommunen ved å lage ulike scenarier for spillvannsammensetning, vedlikehold og klima vil en realistisk og mer nøyaktig reduksjon i blokkeringer kunne estimeres for hver kommune. Ved å kun inkludere nedbør- og temperaturøkning vil en reduksjon i fornyelsesbehovet kunne ligge på 2% for spillvannsledninger, 5% for fellesledninger og 8,5% for betongledninger. For overvannsledninger har det vært for få registrerte blokkeringer for å si noe om framtidige endringer, men fornyelsesbehovet vil høyst sannsynlig kunne reduseres noe.

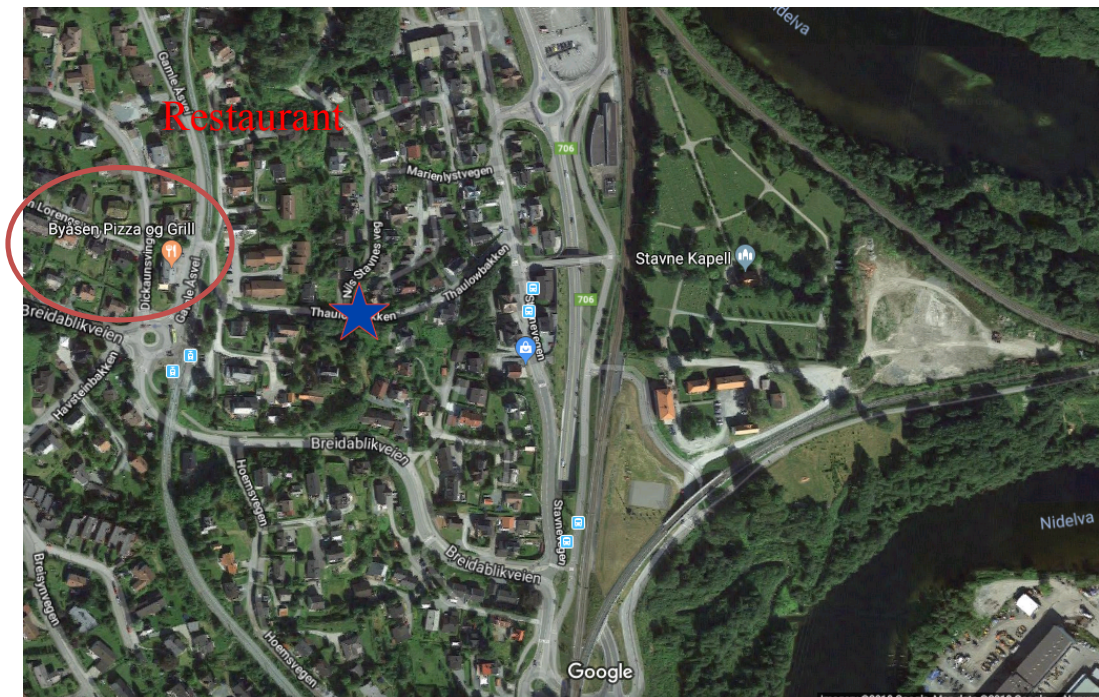
Kilder

- (AS), A. P. (2017) Extreme cold, bizzard batter eastern Europe, *CBCNews*. Tilgjengelig fra: <http://www.cbc.ca/news/world/polar-temperatures-eastern-europe-1.3926538>
- Ana, E. *et al.* (2009) An investigation of the factors influencing sewer structural deterioration, *Urban Water Journal*, 6(4), s. 303-312.
- Arthur, S., Crow, H. og Pedezert, L. (2008) Understanding blockage formation in combined sewer networks, i *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*. Thomas Telford Ltd, s. 215-221.
- Berg, A. (1988) *Sjølvrensing og spyling av avløpsleidningar*. Trondheim.
- Bernhus, C. *et al.* (2007) R150–Dataflyt–Klassifisering av Avløpsledninger, *Report of Norsk Vann*. Norsk Vann, Hamar.
- Blaser-Erke, A. (2017) *Temperaturendringers effekt og påvirkning på drikkevannsnettets pålitelighet*. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Bruaset, S. og Sægrov, S. (2017) An analysis of the potetntial impact of climate change on the structural reliability of drinking water networks in cold climate regions.
- Bruaset, S. (2018) Personlig diskusjon.
- Bruaset, S. og Sægrov, S. (2018) An Analysis of the Potential Impact of Climate Change on the Structural Reliability of Drinking Water Pipes in Cold Climate Regions, *Water*, 10(4), s. 411.
- Davies, J. *et al.* (2001) Factors influencing the structural deterioration and collapse of rigid sewer pipes, *Urban water*, 3(1-2), s. 73-89.
- Elvsåshagen, L. *et al.* (2018) Planet Plast: NRK. Tilgjengelig fra: <https://tv.nrk.no/serie/planet-plast>.
- Flegenheimer, M. (2015) Wet Wipes Box Says Flush. New York's Sewer System Says Don't.
- Fossberg, H., Rydningen, U. og Merschbrock, C. (2017) Understanding Biofilm Issues in Wastewater Pipes.
- Galloway, D. L., Jones, D. R. og Ingebritsen, S. E. (1999) *Land subsidence in the United States*. US Geological Survey.
- Hafskjold, L. S. *et al.* (2004) Improved assessment of sewer pipe condition, i *CityNet 19th European Junior Scientist Workshop on Process Data and Integrated Urban Water Modelling*.
- Hafskjold, L. S. (2009) *Trykktap i avløpsnett*. (Norsk Vann Rapport).
- Hanssen-Bauer, I. *et al.* (2015) Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015, *NCCS report*, NCCS, Oslo, Norway, s. 203.
- Haram, I. V. og Hansen, A. H. (2011) Ikke tøm ribbefettet i vasken, *NRK Østlandssendingen*. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/ostlandssendingen/--ikke-tom-riibbefettet-i-vasken-1.7922985> (Hentet: 1. juni 2018).
- Helbæk, M. (2011) *Statistikk - Kort og godt*. Universitetsforlaget.
- Hofshaugen, T. (2014) Vis fettvett!, *Aftenposten*. Tilgjengelig fra: <https://www.aftenposten.no/meninger/i/G18eJ/Vis-fettvett> (Hentet: 1. juni 2018).
- Hofstad, S. og Karlsen, M. (2015) Rotteplakater skal lære folk do-vett, *NRK*. Tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/trondelag/rotteplakater-skal-laere-folk-do-vett-1.12506642> (Hentet: 1. juni 2018).
- Jin, H. (2010) Design and construction of a large-diameter crude oil pipeline in Northeastern China: A special issue on permafrost pipeline: Elsevier.
- Johnsen, M. (2018) Personlig diskusjon (Mail), *Trondheim kommune*.
- Keay, L. (2017) ANOTHER giant fatberg is found under London as engineers search for a way to remove 26 tonnes of waste from Chinatown sewers built 165 years ago.

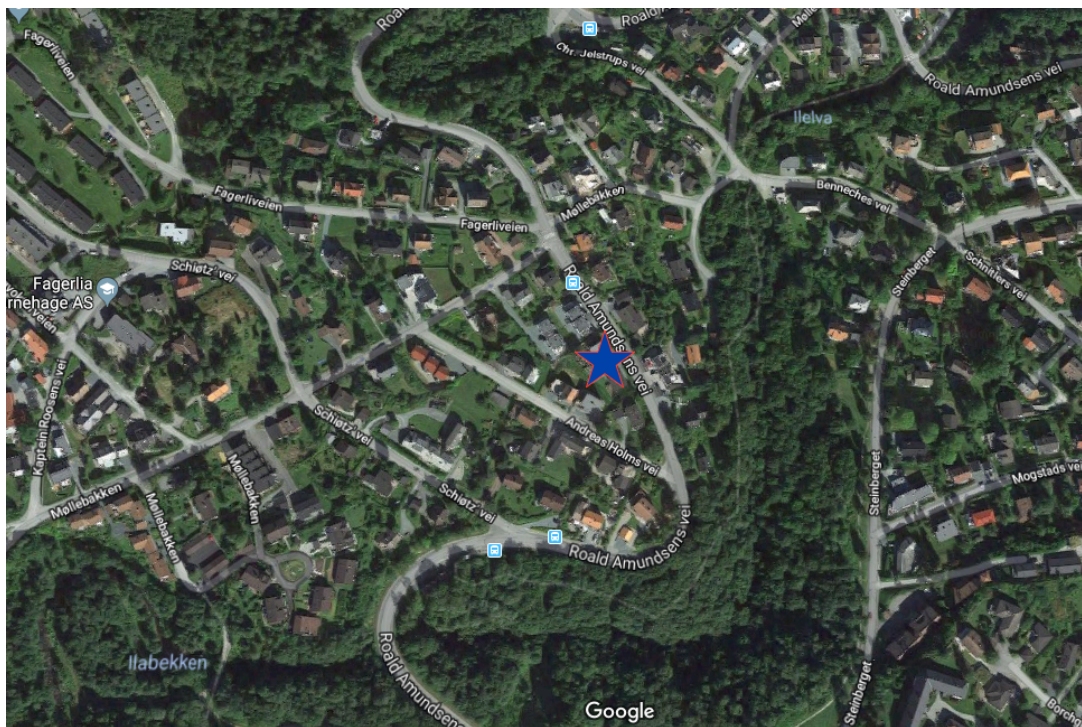
- KOSTRA (2017) Kommunalt avløp, *Statistisk sentralbyrå*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/var/kostra/> (Hentet: 07.06.2018).
- Lindholm, O. (2016) Er det sammenheng mellom tilstanden på avløpsnettets og graden av fornyelse i kommunene i Norge?, *Vannforeningen*.
- Makar, J. (1999) Failure analysis for grey cast iron water pipes, i *Proc., AWWA Distribution System Symp., American Water Work Association, Denver*.
- Miljø-blad (2015) Dimensjonering av avløpsledninger. Selvreising NR. 79. Tilgjengelig fra: http://www.fig.ol.no/~atso0701/NS_tabeller/VA-forum - Dimensjonering av avl%F8psledninger - Selvreising.pdf.
- Mitchell, R.-L. *et al.* (2017) Investigations into wastewater composition focusing on nonwoven wet wipes, *Czasopismo Techniczne*, (Volume 1), s. 125-135.
- Newport, R. (1981) Factors influencing the occurrence of bursts in iron water mains, *Aqua*, (3).
- Pascal Le Gauffre, J.-B. A., Stian Bruaset, Rita Ugarelli, Celia Benoit, Frenco Trivisonno, Kim Van den Bliet (2013) Impacts of climate change on maintenance activities: a case study on water pipe breaks, *PREPARED 2014.006*.
- PipeLife (2007) *Rørhåndboka*.
- Pomeroy, R. D. og Pomeroy, J. (1974) *Process design manual for sulfide control in sanitary sewerage systems*. US Environmental Protection Agency, Technology Transfer.
- Radulova, L. (2015) The 500 tonnes of putrid WET WIPES choking our cities' sewers... and comfort-loving MEN are to blame because they like the 'softer feel' in the bathroom, *Daily Mail*
- Rajani, B. og Kleiner, Y. (2001) Comprehensive review of structural deterioration of water mains: physically based models, *Urban water*, 3(3), s. 151-164.
- Reikvam, S. (2013) *Frostskader på drikkevannsledninger*, Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Rosseland, B. (2018) Personlig kommunikasjon (Mail).
- Rostad, M. (2016) Tilstandsvurdering av kommunale vann- og avløpstjenester, *Norsk Vann*.
- Sægrov, S. (2005) *CARE-W*. IWA Publishing.
- Schei, I. og Tekle, T. (1976) *Slitasje i avløpsrør*. no: Prosjektkomitéen for rensing av avløpsvann.
- Stocker, T. *et al.* (2013) IPCC, 2013: summary for policymakers in climate change 2013: the physical science basis, contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change: Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA.
- Stojanovic, D. (2012) Extreme cold wather in eastern Europe claims 79 lives, *The Guardian*. Tilgjengelig fra: <https://www.theguardian.com/world/2012/feb/01/extreme-cold-weather-eastern-europe>.
- Sægrov, S. (1992) *Tilstand og tilstandsændring for betongavløpsledninger*. Trondheim: Institutt for vassbygging, Seksjon for VAR-teknikk, Norgestekniske høyskole.
- Sægrov, S. (2013) *Ledningsteknologi for vann og avløp*. *Vann- og avløpsteknikk*. Norsk Vann.
- Thingnes, K. B. *et al.* (2017) *Fagrappport avløp og vannmiljø 2016*. Oslo kommune Vann -og avløpsetaten.
- Tran, D., Perera, B. og Ng, A. (2010) Hydraulic deterioration models for storm-water drainage pipes: ordered probit versus probabilistic neural network, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(2), s. 140-150.
- Ugarelli, R. *et al.* (2009) Statistical analysis and definition of blockages-prediction formulae for the wastewater network of Oslo by evolutionary computing, *Water science and technology*, 59(8), s. 1457-1470.
- Ugarelli, R. *et al.* (2010a) Overview of climate change effects which may impact the urban

- water cycle.
- Ugarelli, R. *et al.* (2010b) Historical analysis of blockages in wastewater pipelines in Oslo and diagnosis of causative pipeline characteristics, *Urban Water Journal*, 7(6), s. 335-343.
- Vevatne, J. og Westskog, H. (2007) Tilpasninger til klimaendringer i Osloregionen. Rapport til Klimasamarbeidet i Osloregionen. Utredning på oppdrag fra Akershus fylkeskommune, Buskerudfylkeskommune og Oslo kommune, *Centre for Interdisciplinary Environmental Social Research, Oslo (in Norwegian)*.
- Wilson, D., Hisdal, H. og Lawrence, D. (2010) Has streamflow changed in the Nordic countries? Recent trends and comparisons to hydrological projections, *Journal of Hydrology*, 394(3), s. 334-346. doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.09.010.
- WRc (2001) Sewer rehabilitation manual, 4th edition. , *United Kingdom: Water Research Council Publication*.
- WSA/FWR (1993) Materials selection manual for sewer, pumping mains and manholes, *UK Water Industry Sewer and Water Mains Committee*.
- Wu, Y. *et al.* (2010) Stresses and deformations in a buried oil pipeline subject to differential frost heave in permafrost regions, *Cold regions science and technology*, 64(3), s. 256-261.
- Xu, G., Qi, J. og Jin, H. (2010) Model test study on influence of freezing and thawing on the crude oil pipeline in cold regions, *Cold regions science and technology*, 64(3), s. 262-270.

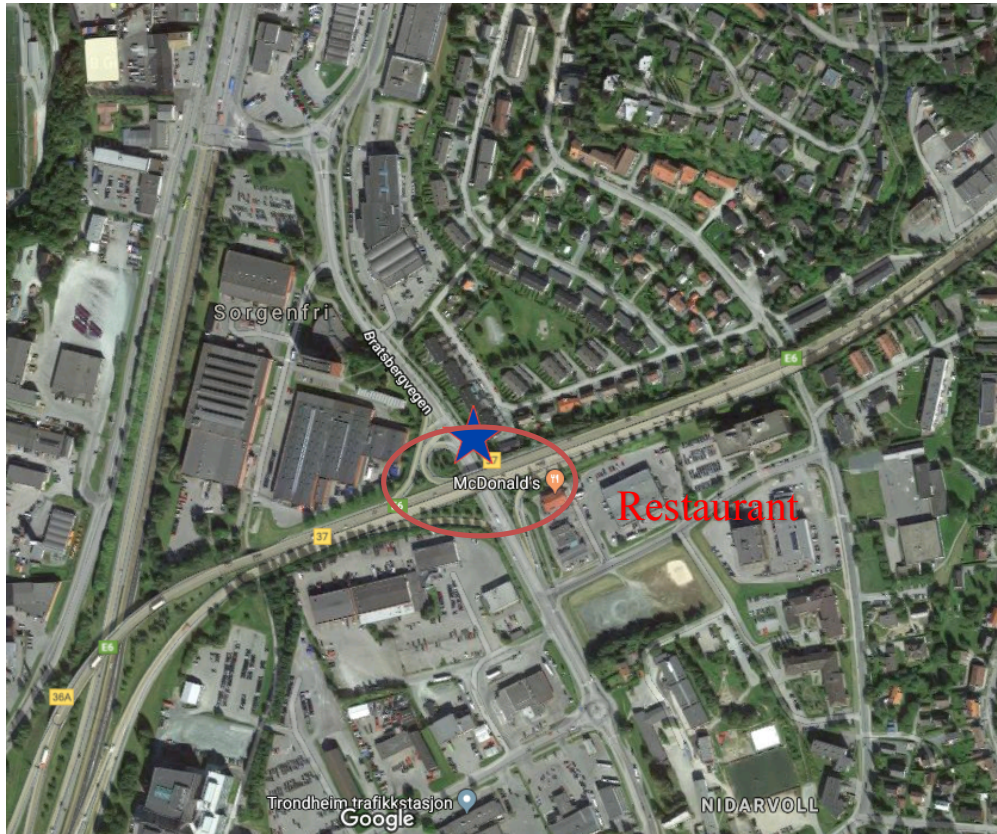
Vedlegg 1



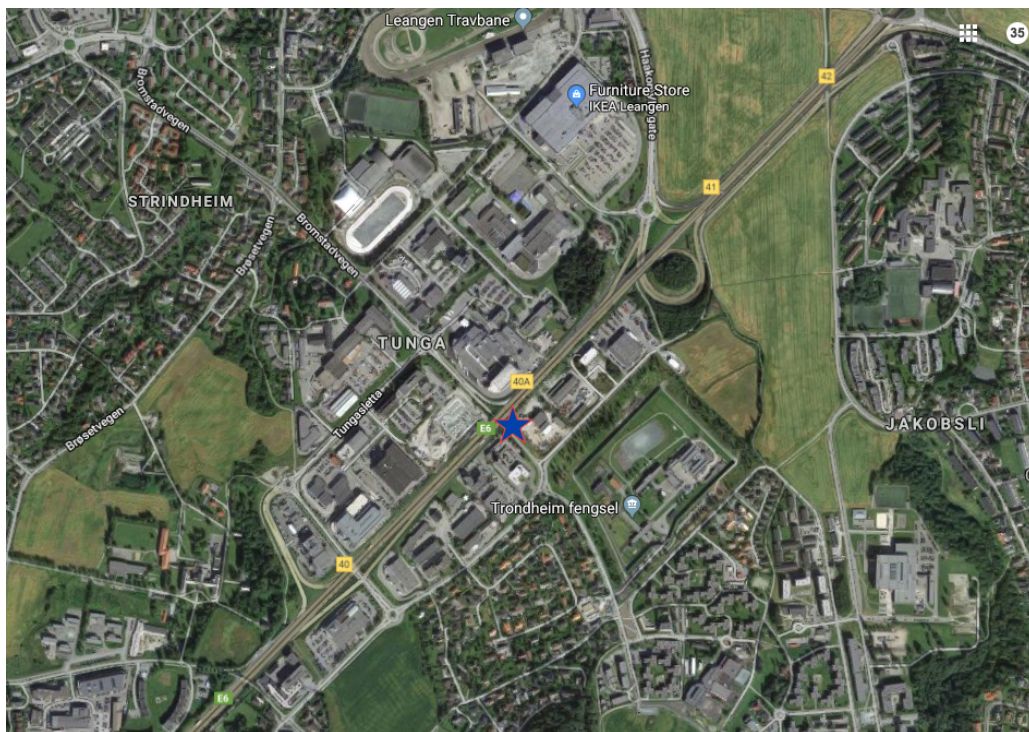
Figur 42: Oversiktsbilde over området rundt ledningen i Thoulowsbakken hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.



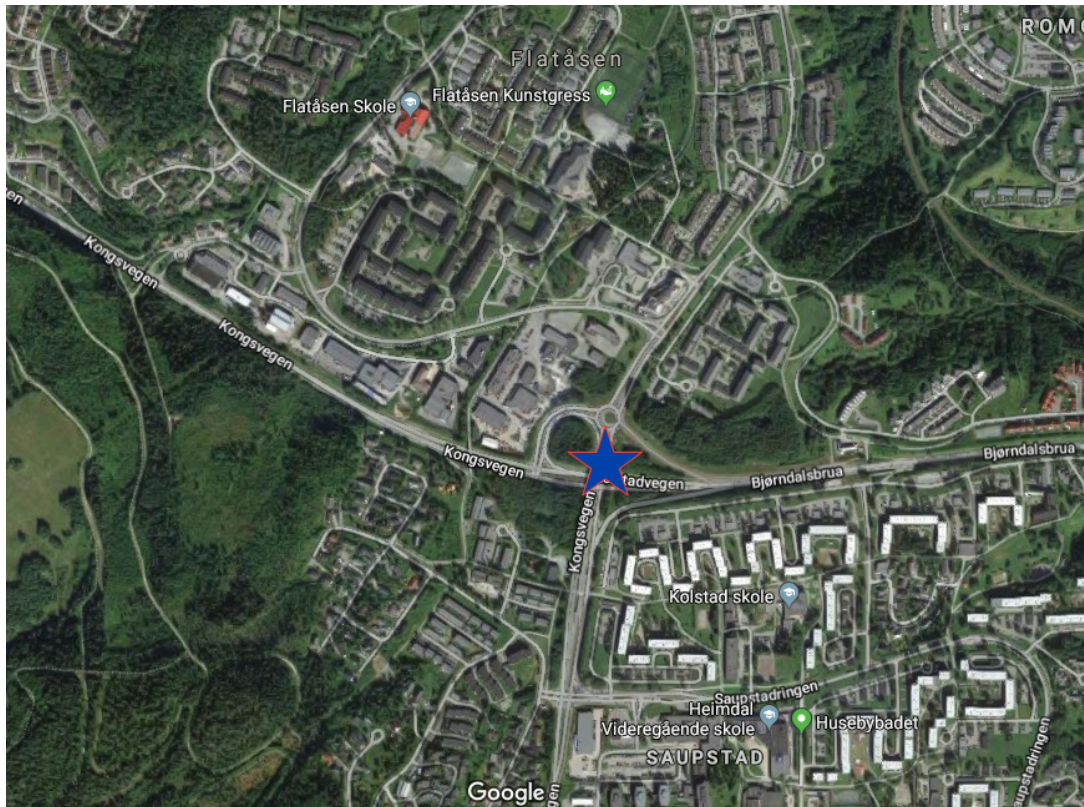
Figur 43: Oversiktsbilde over området rundt ledningen i Roald Amundsens vei hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.



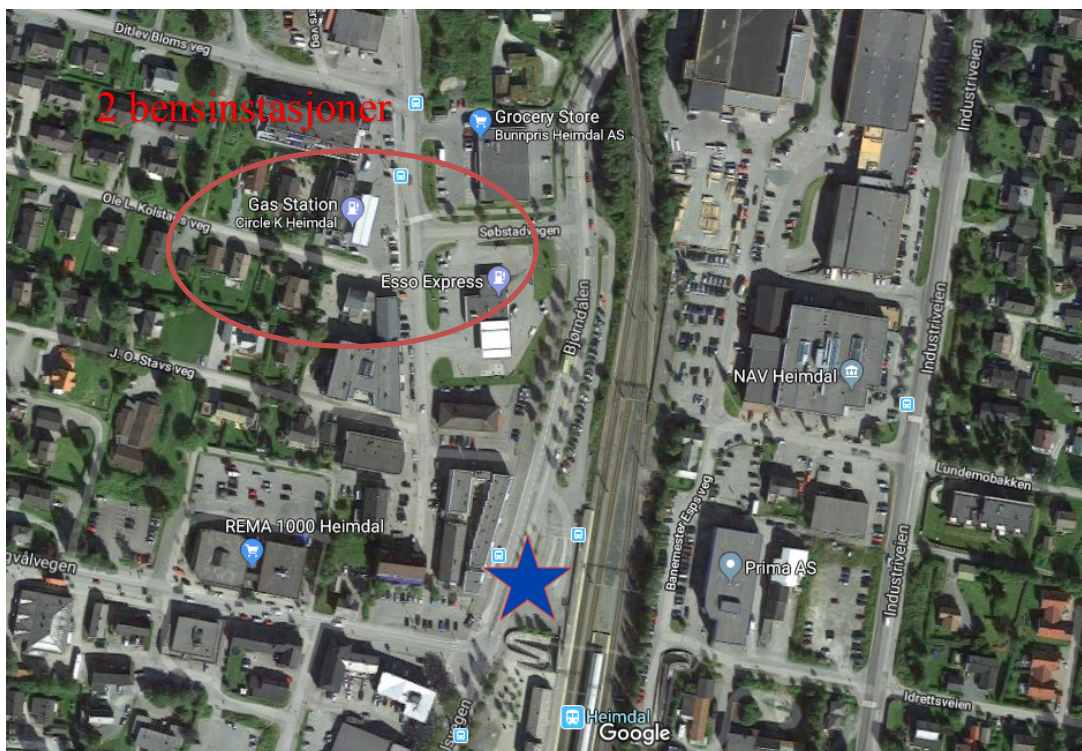
Figur 44: Oversiktsbilde over området rundt ledningen på Sluppen hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.



Figur 45: Oversiktsbilde over Tunga hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer på en ledning. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.



Figur 46: Oversiktsbilde over området rundt ledningen i Kongsvegen hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.



Figur 47: Oversiktsbilde over Heimdal hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer på en ledning. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.



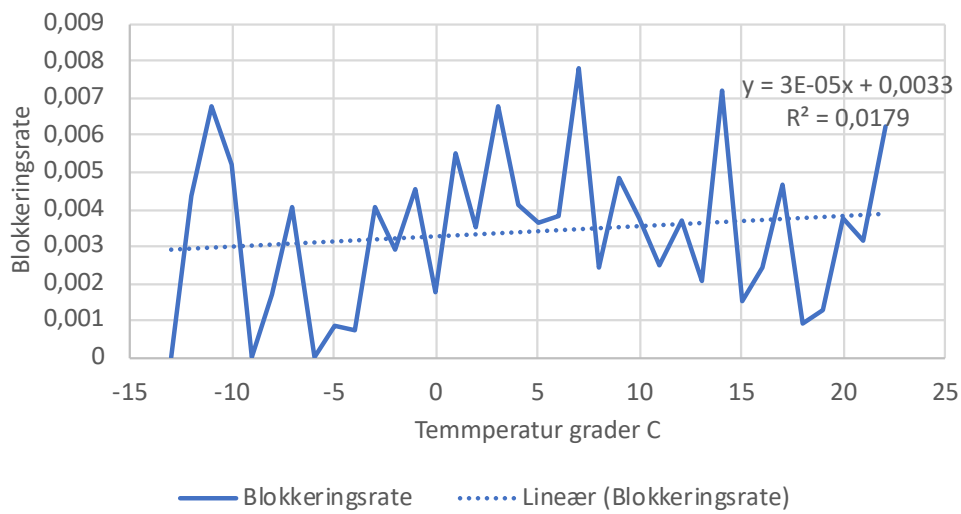
Figur 48 Oversiktsbilde over området rundt Lykkmarka hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer på en ledning. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.



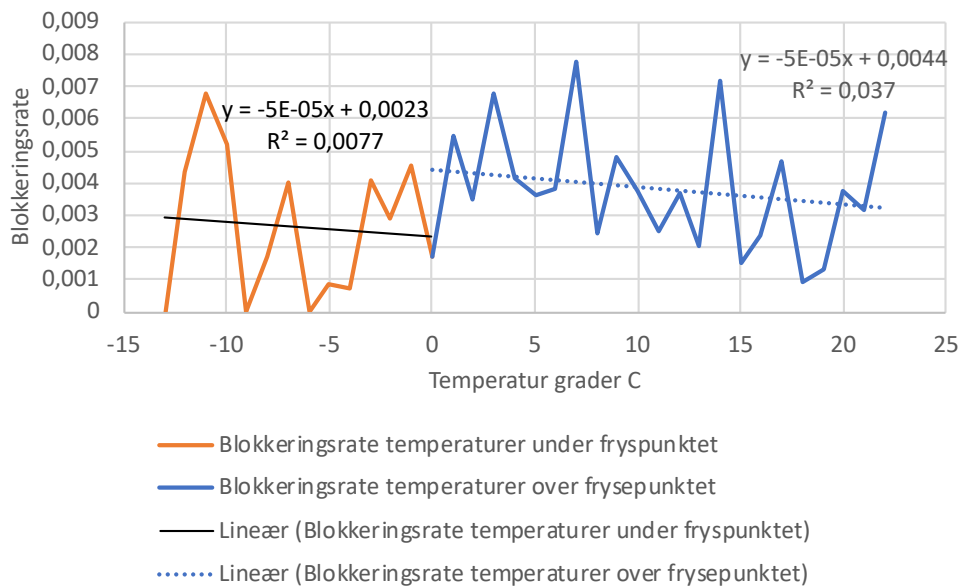
Figur 49: Oversiktsbilde over området rundt ledningen under Innherredsveien hvor det har blitt registrert flere enn 4 blokkeringer. Stjernen markerer hvor blokkeringene har oppstått.

Vedlegg 2 - Grafer

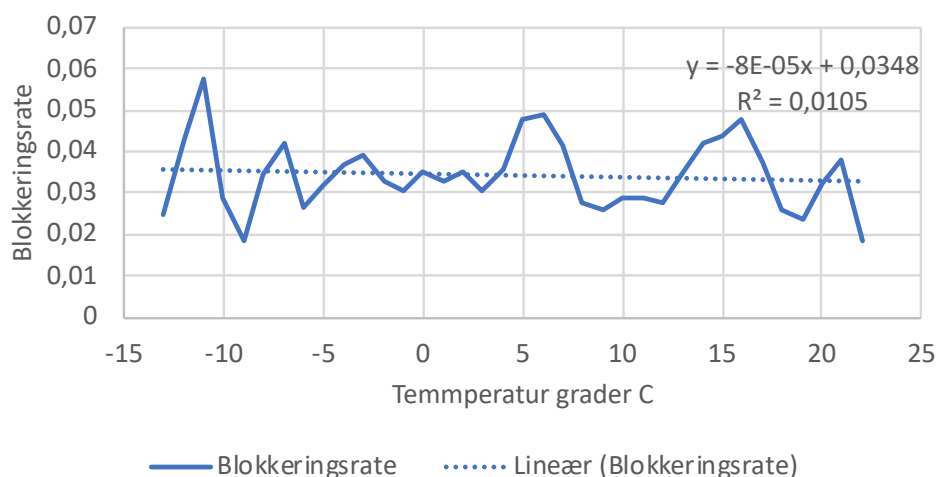
Korrelasjon mellom blokkeringsrate og temperatur



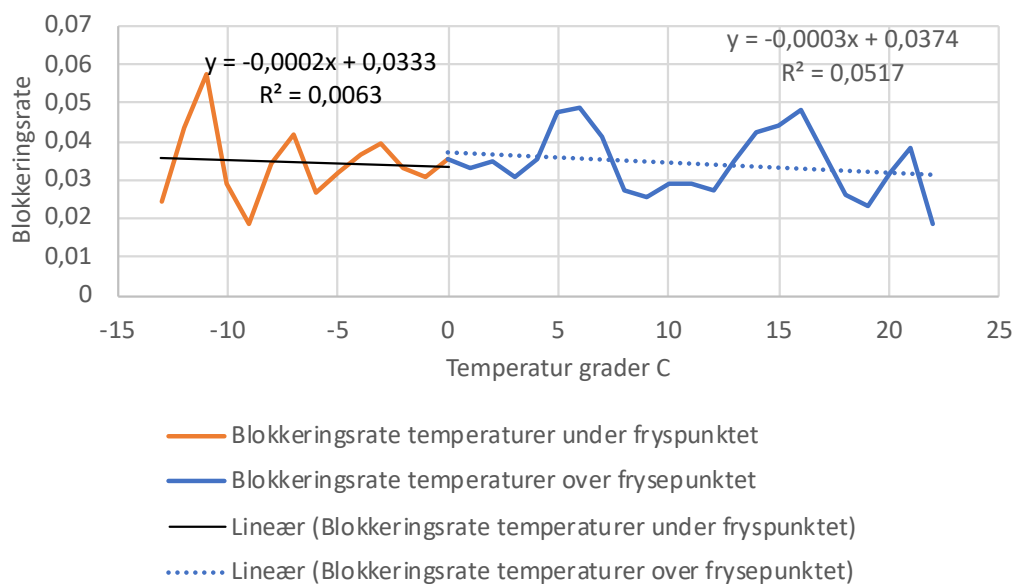
Figur 50: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for overvannsledninger (OV)



Figur 51: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for overvannsledninger (OV)

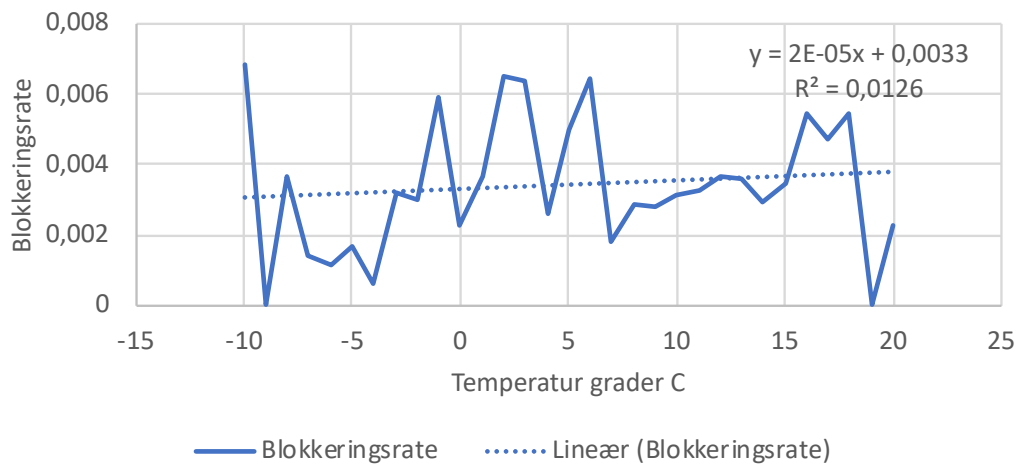


Figur 52: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot temperatur for plastledninger

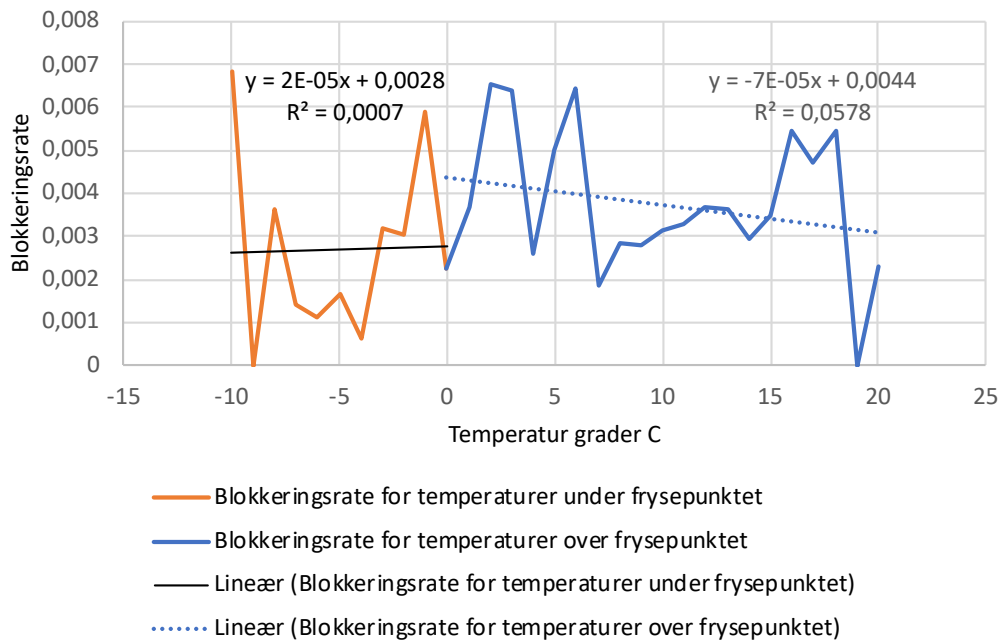


Figur 53: Blokkeringsrate mot temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for plastledninger

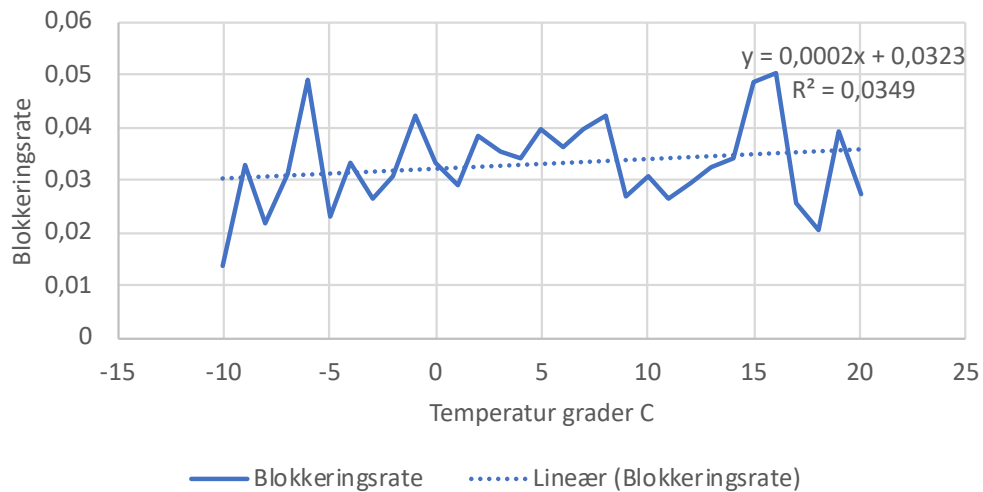
Korrelasjon mellom blokkeringsrate og ukentlig gjennomsnittlig temperatur



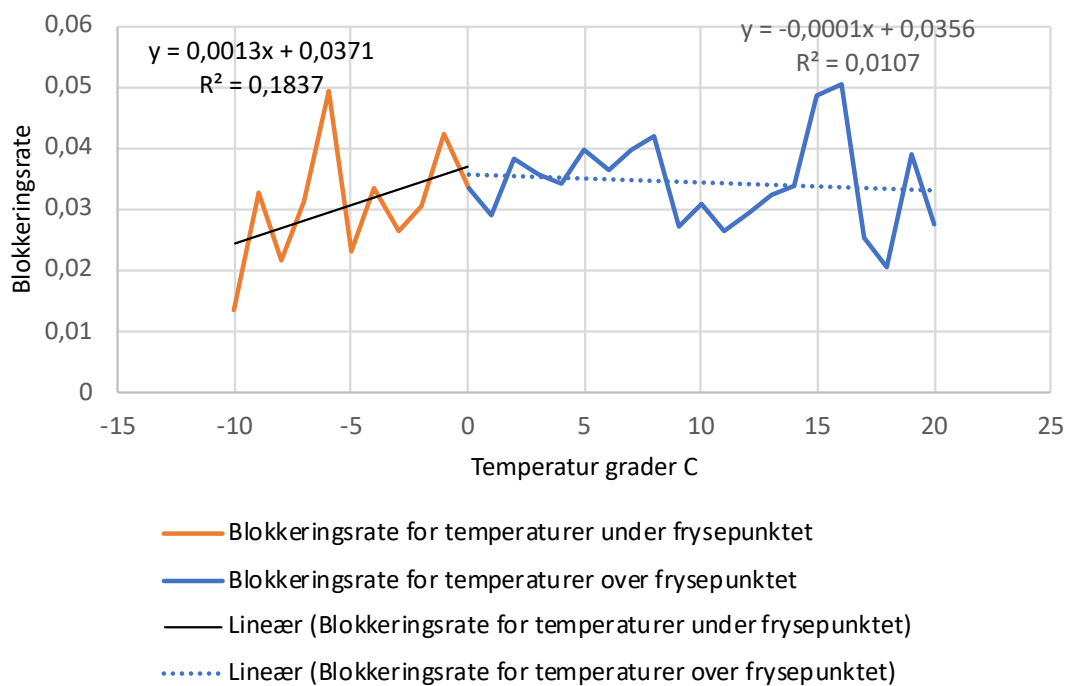
Figur 54: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur for overvannsledninger (OV)



Figur 55: Blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for overvannsledninger (OV)

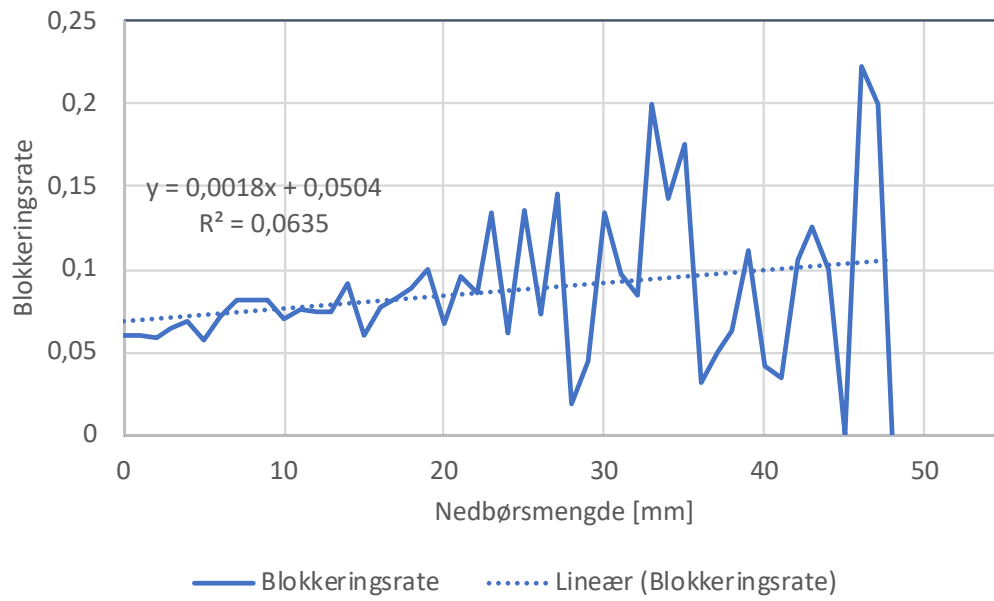


Figur 56: Blokkeringsrate og lineær trendlinje plottet mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur for plastledninger

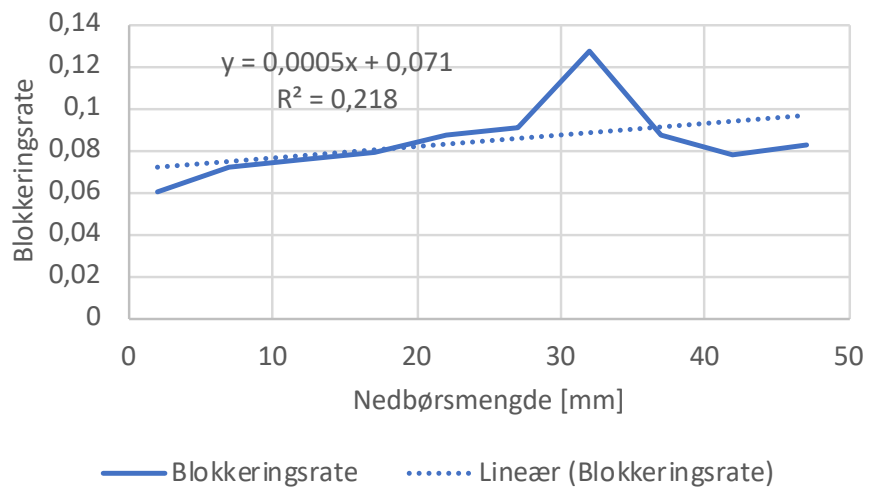


Figur 57: Blokkeringsrate mot ukentlig gjennomsnittlig temperatur med en trendlinje for verdiene over frysepunktet og en annen trendlinje for verdiene under frysepunktet, for plastledninger.

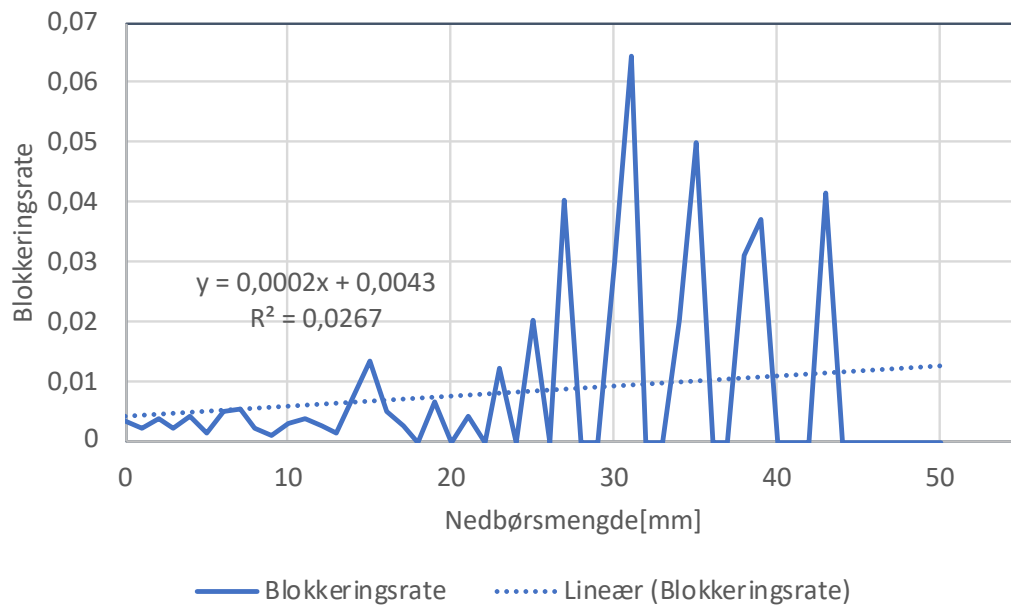
Korrelasjon mellom blokkeringsrate og nedbør



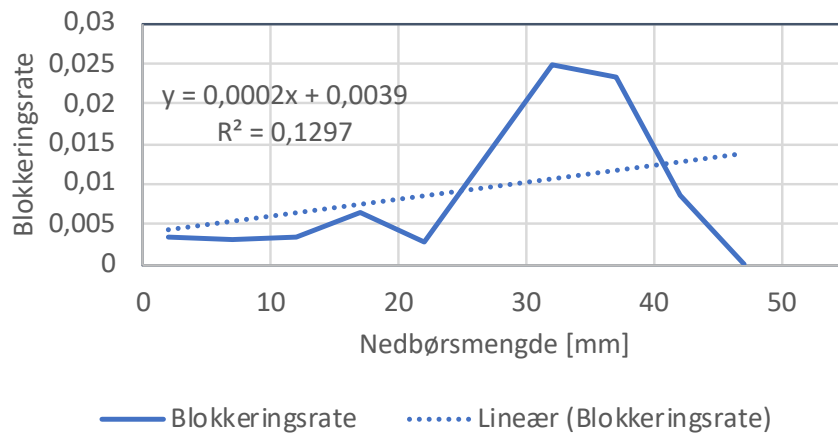
Figur 58: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall



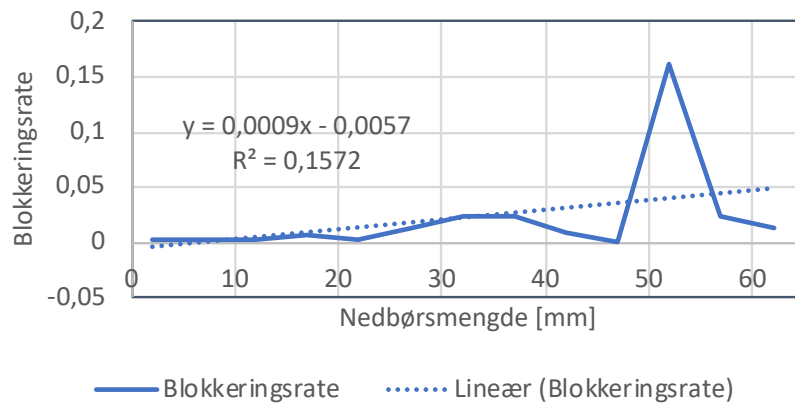
Figur 59: Blokkeringsrate for OV og AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.



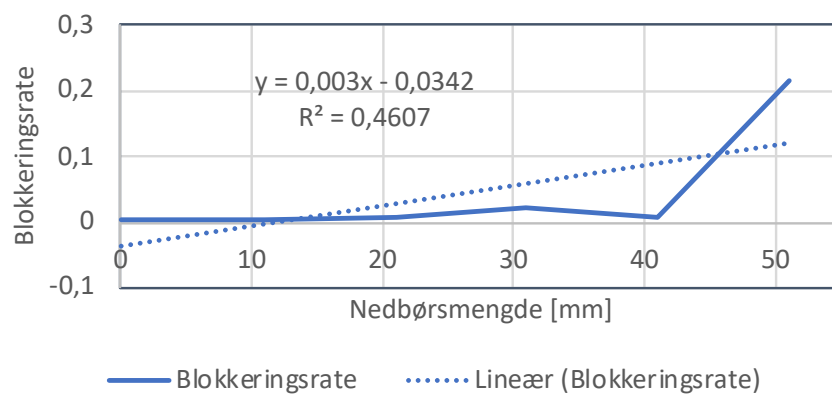
Figur 60: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall.



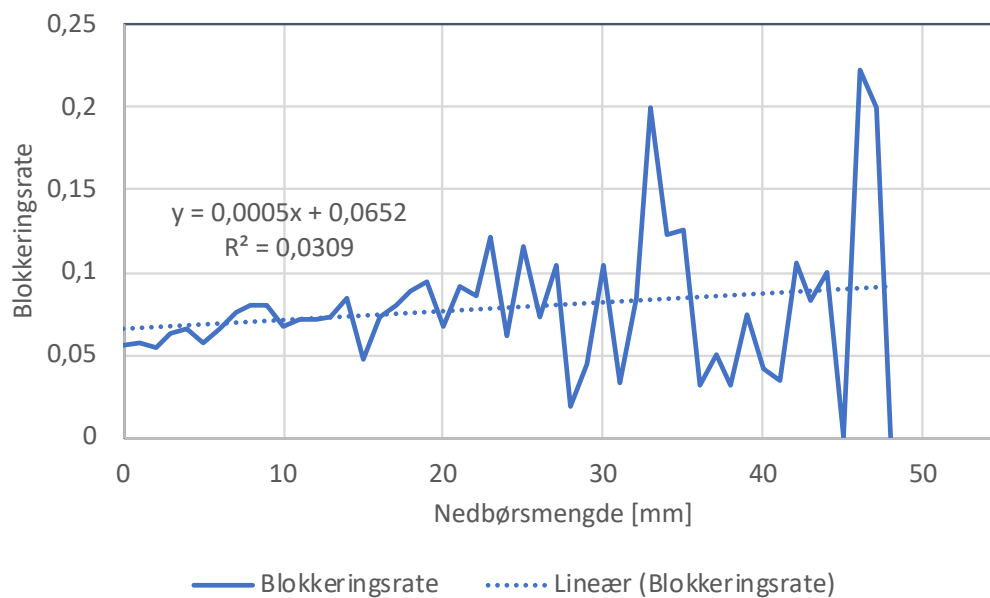
Figur 61: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier



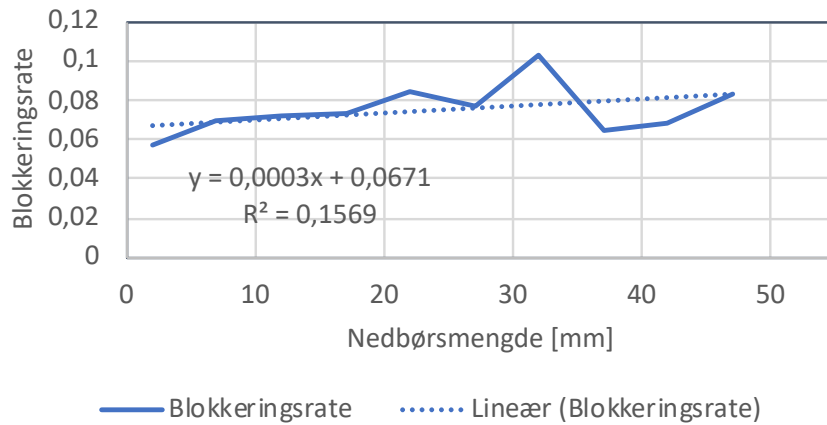
Figur 62: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier



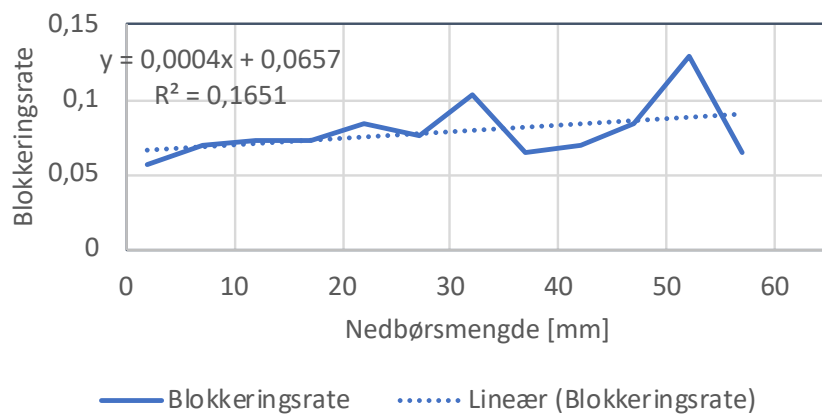
Figur 63: Blokkeringsrate for OV og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier



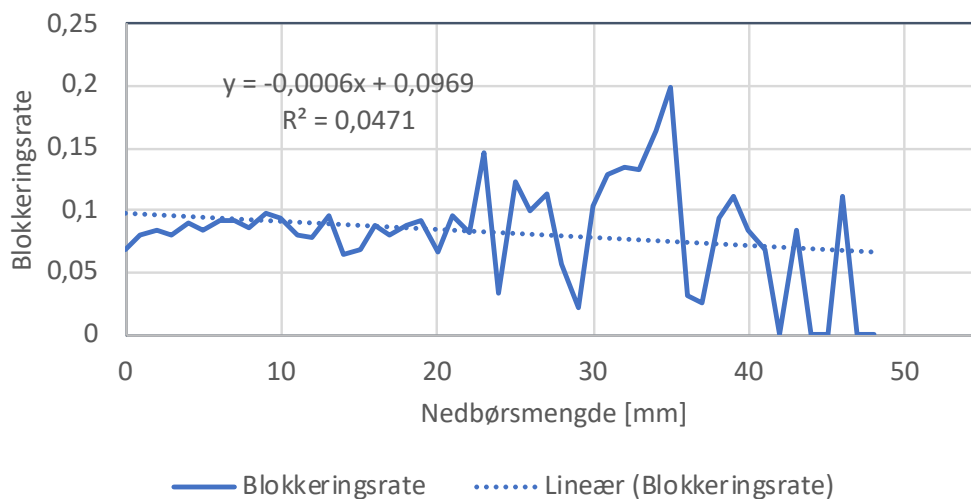
Figur 64: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall.



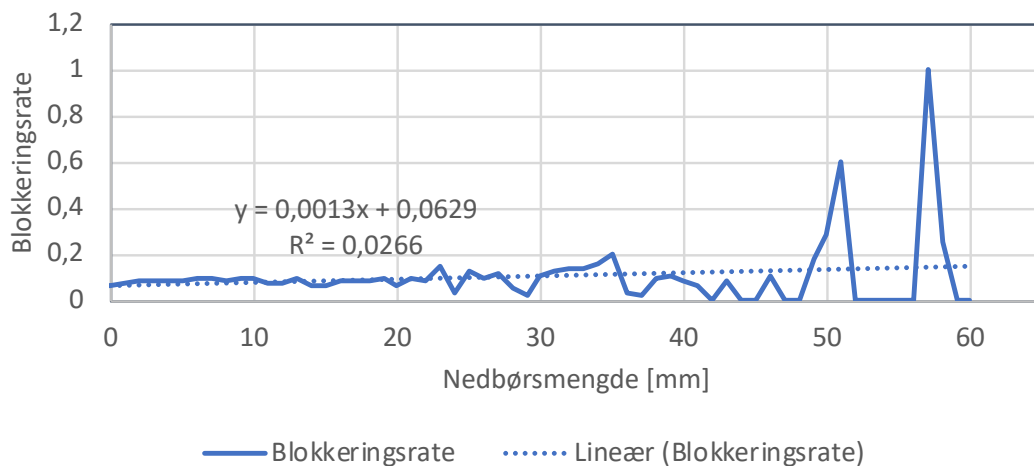
Figur 65: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.



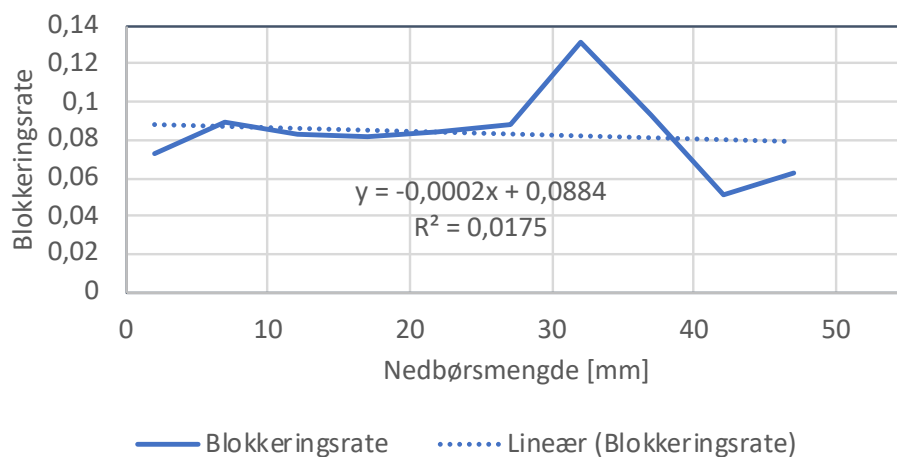
Figur 66: Blokkeringsrate for AF og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier



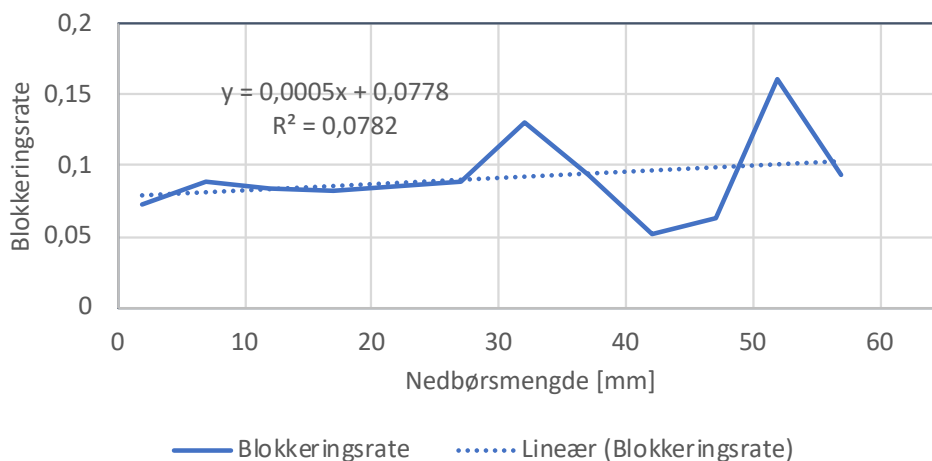
Figur 67: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall



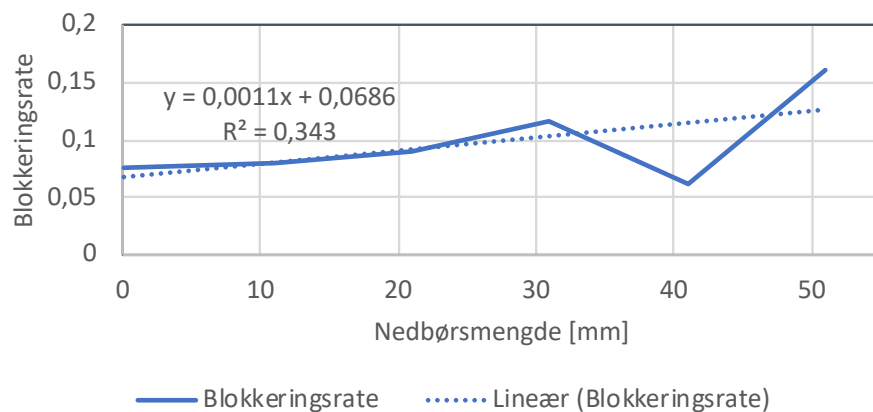
Figur 68: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall



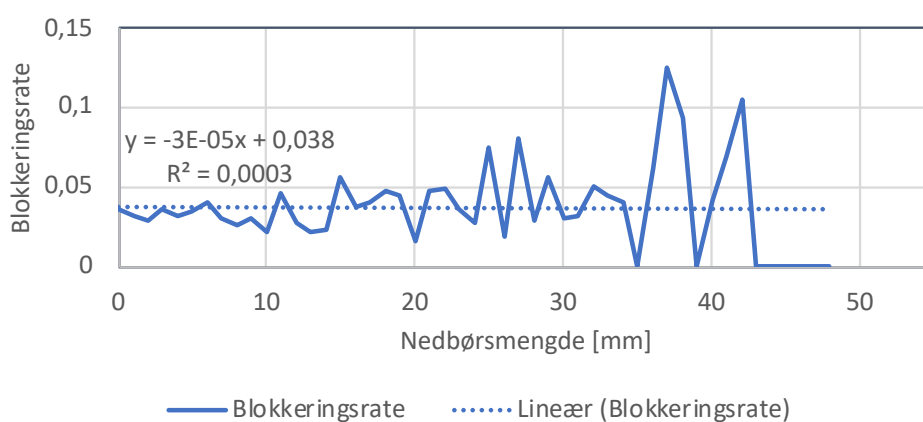
Figur 69: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier



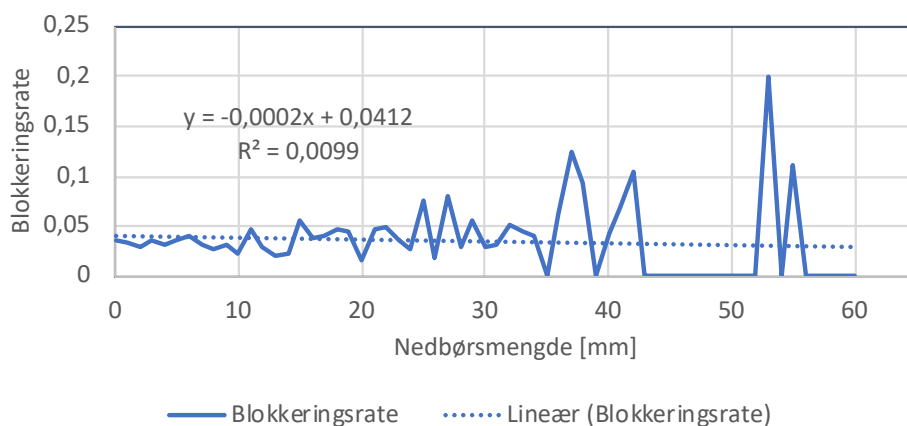
Figur 70: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier



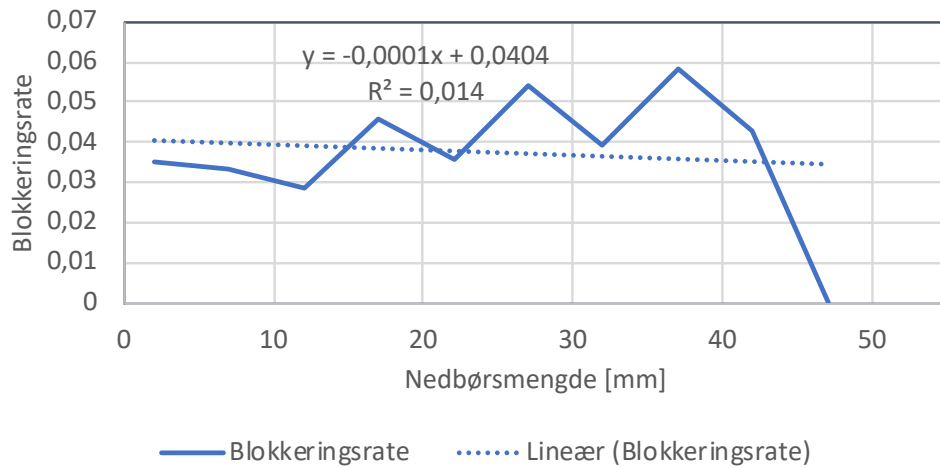
Figur 71: Blokkeringsrate for betongledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.



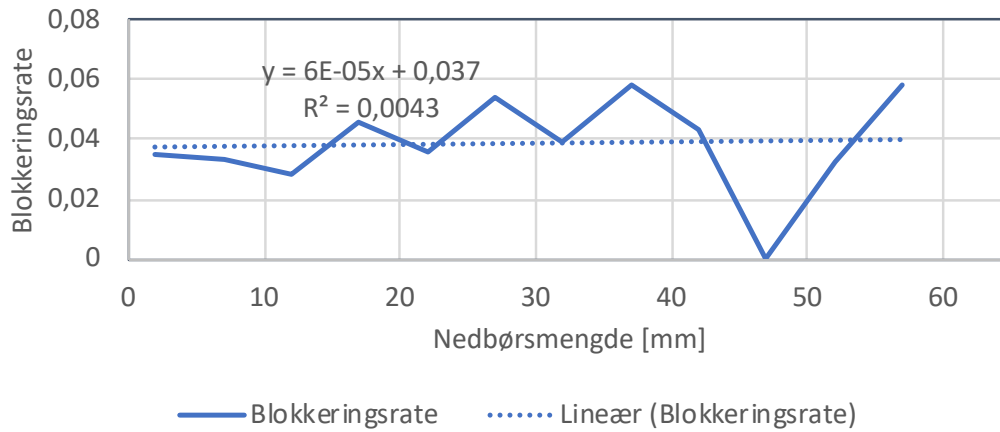
Figur 72: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall



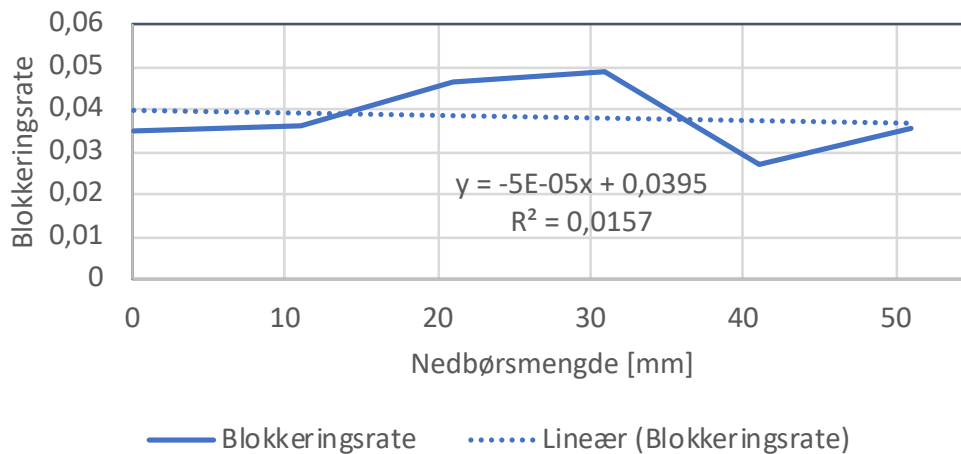
Figur 73: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall



Figur 74: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier

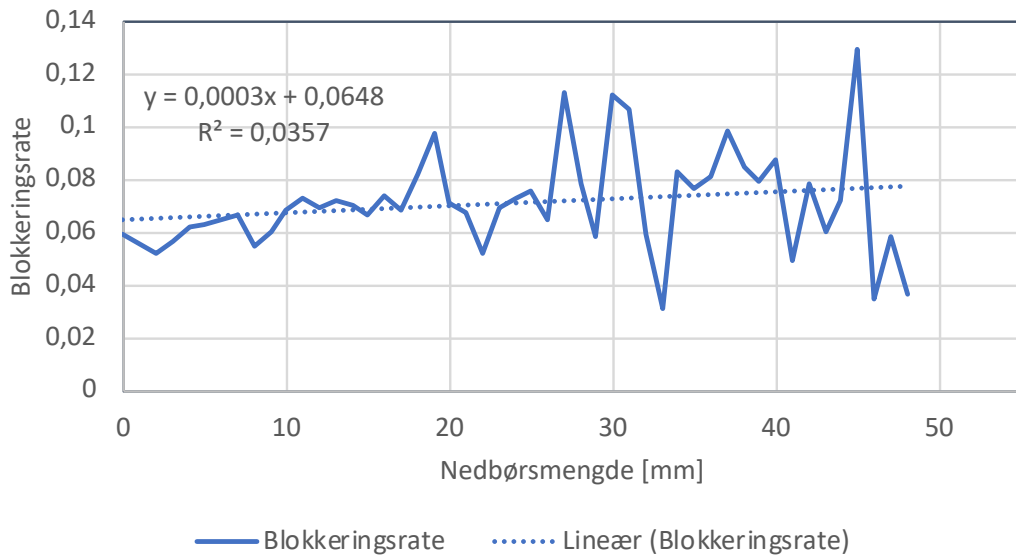


Figur 75: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier

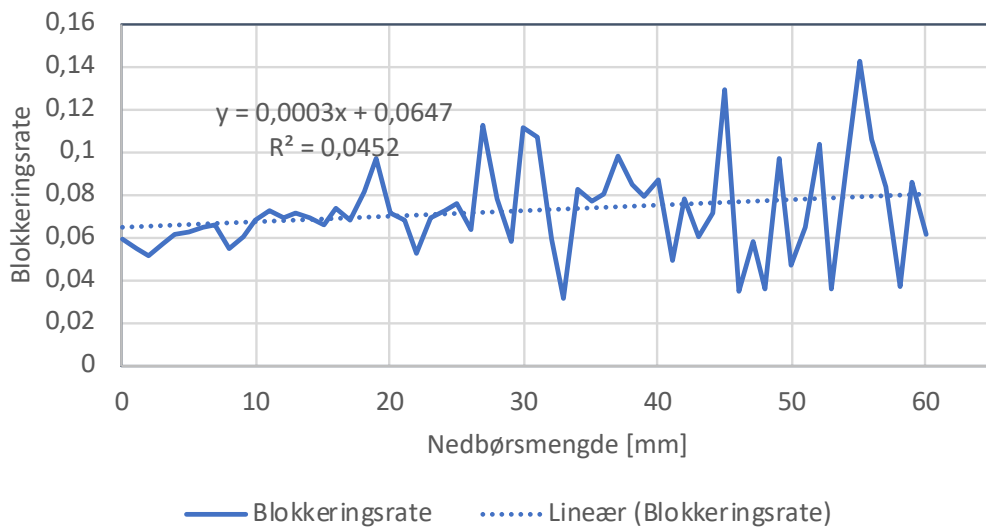


Figur 76: Blokkeringsrate for plastledninger og lineær trendlinje plottet mot nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier

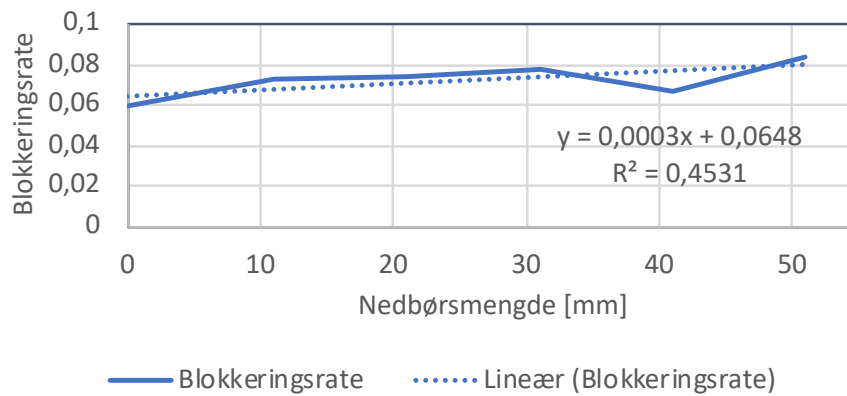
Korrelasjon mellom blokkeringsrate og akkumulert nedbør 3 dager før



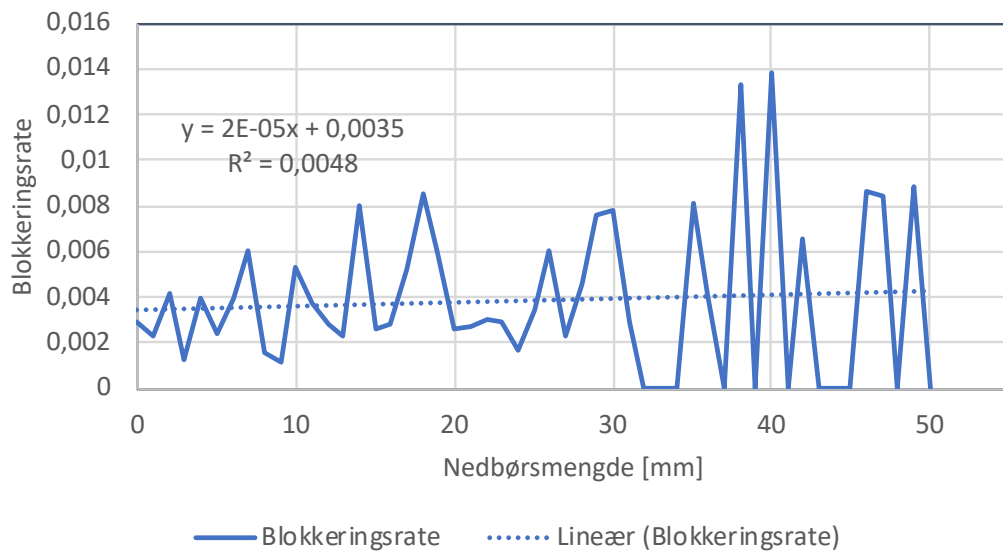
Figur 77: Blokkeringsrate for AF og OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall.



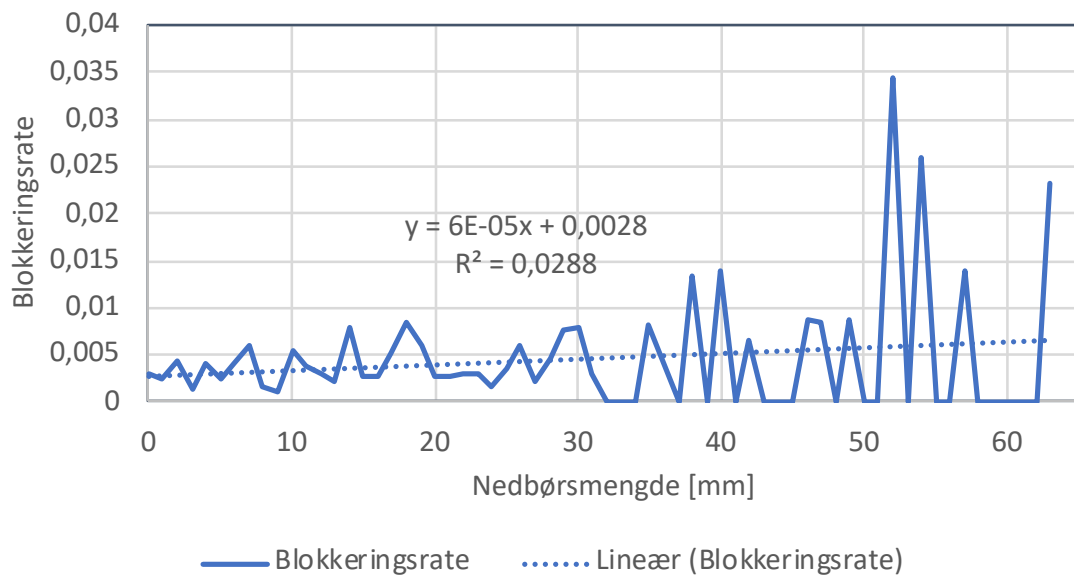
Figur 78: Blokkeringsrate for AF og OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall.



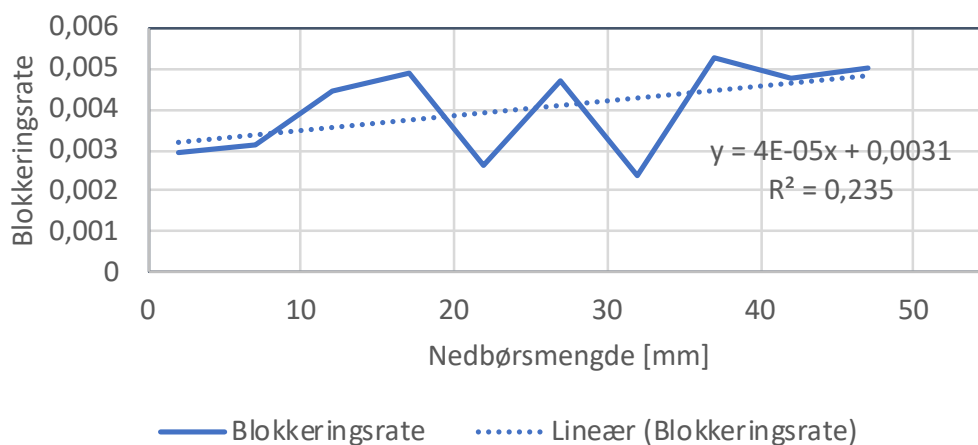
Figur 79: Blokkeringsrate for AF og OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.



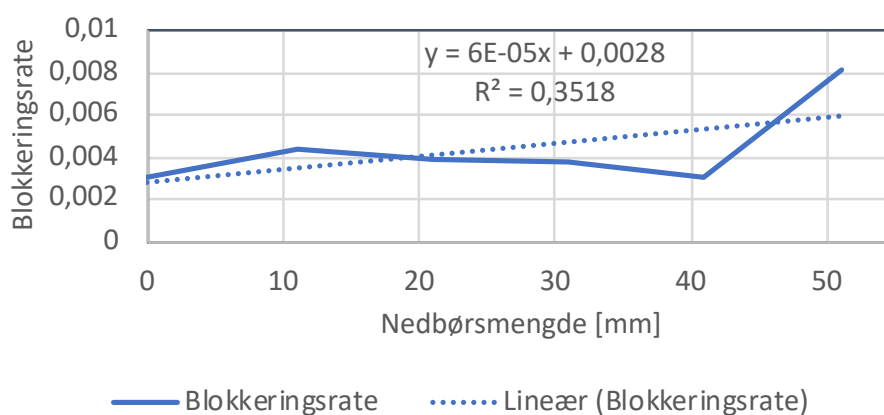
Figur 80: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall.



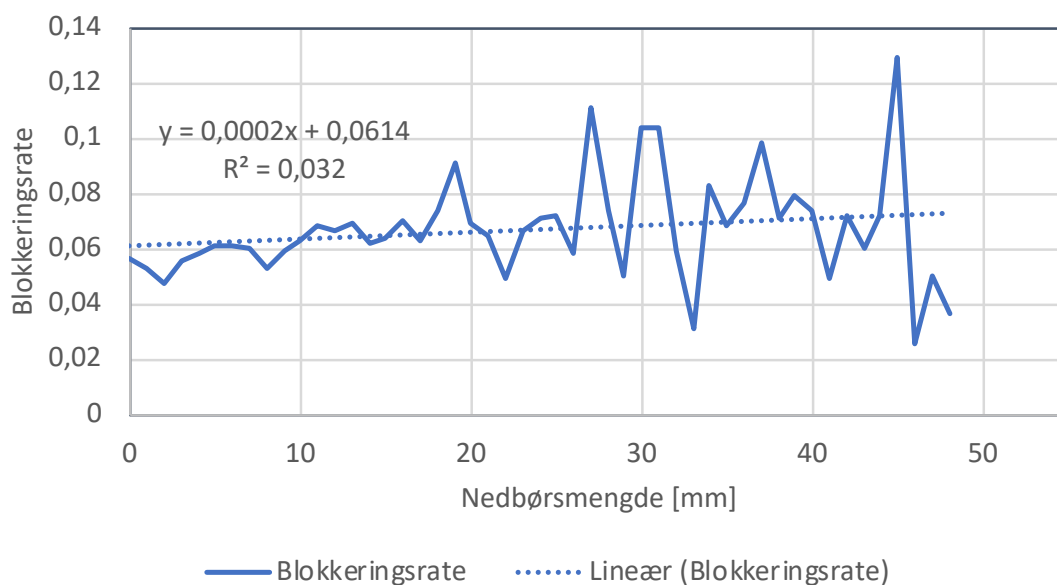
Figur 81: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall.



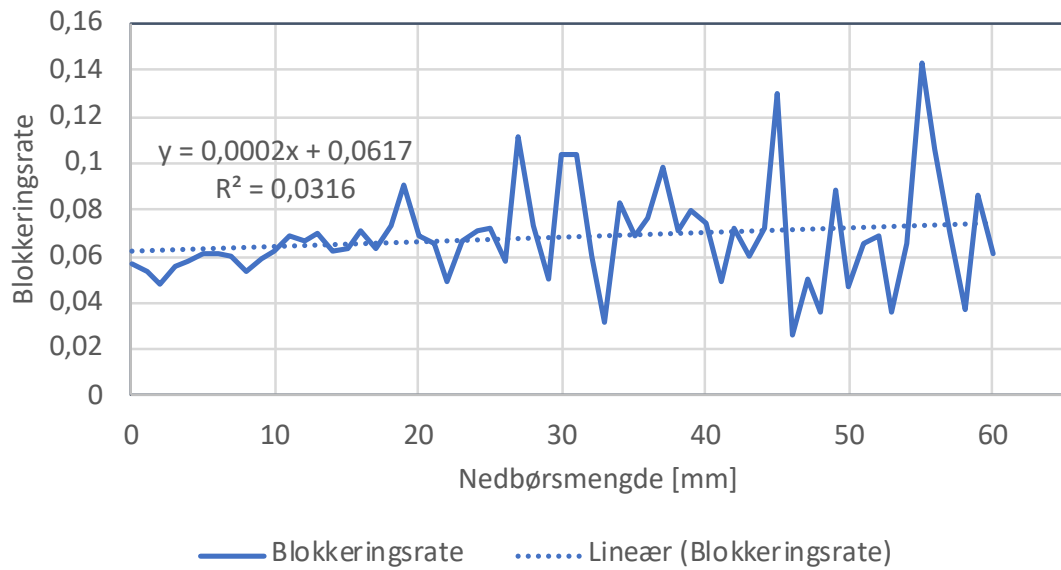
Figur 82: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.



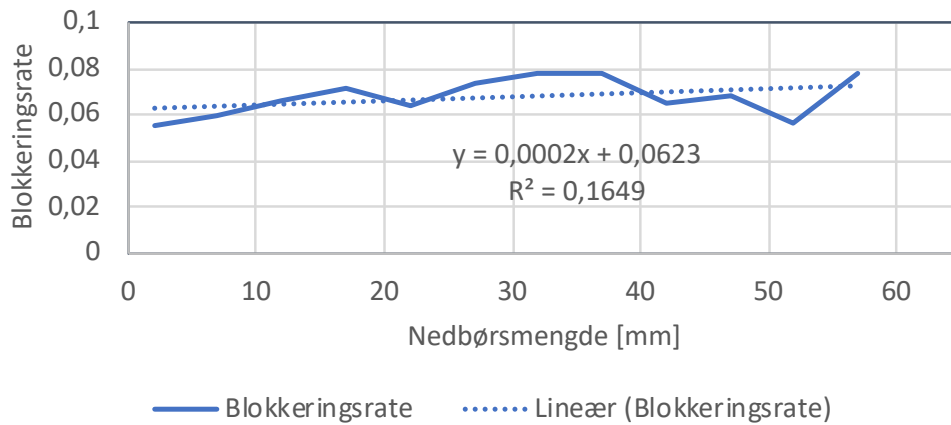
Figur 83: Blokkeringsrate for OV plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.



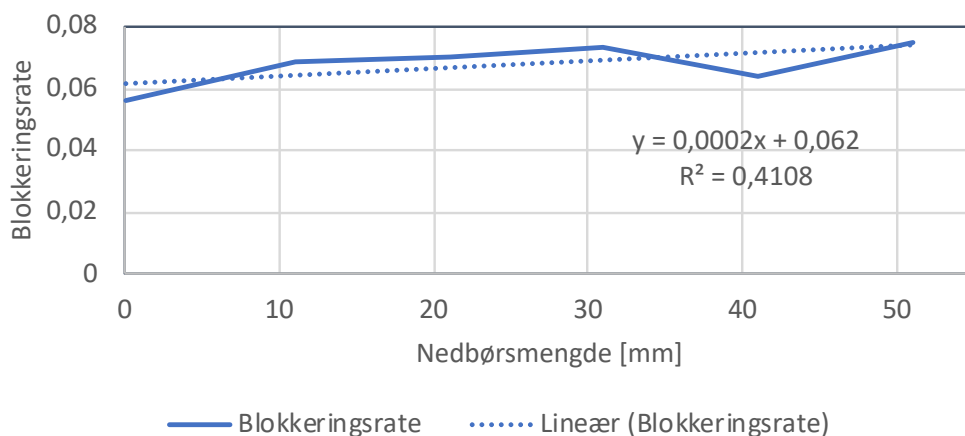
Figur 84: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 2-års gjentagsintervall.



Figur 85: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall.



Figur 86: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 5 nedbørsverdier.



Figur 87: Blokkeringsrate for AF plottet mot 3 dager akkumulert nedbør, 5-års gjentagsintervall, gruppering av 10 nedbørsverdier.

Vedlegg 3 - Intervju kommuner

Følgende spørsmål ble sendt kommunene:

1. Hva anser du som de viktigste faktorene for at en blokkering skal oppstå?
2. Er det visse områder dere har spesielle utfordringer med tilstoppinger og/eller kjelleroversvømmelser? Hva tror dere årsakene er for dette?
3. Har dere en formening om hva som er hoved årsakene til tilstoppinger av avløpsledninger i din kommune?
4. Spiller sammensetning av avløpsvannet en rolle for at tilstoppinger skjer? Eks., har dere større problemer med avløpsvann fra industri og/eller restauranter enn avløpsvann fra rene boligområder?

Tabell 28: Svar på intervju spørsmål fra Trondheim og Oslo kommune.

Spørsmål	Trondheim kommune	Oslo kommune
1	<p>*Selvrensning ikke fungerer optimalt.</p> <p>Pga: - for dårlig fall, - ”Svanker” på ledningen, fremmedlegemer, - fett i ledningen, - røtter, - kollaps, og - for dårlig teknisk hydraulisk utformet ledningsstreck.</p>	<p>De viktigste faktorene for blokkering i Oslo er; i fellessystem, sand og grus, samt fett. I separate ledninger (SP ledninger) fettproblem og sanitærsøppel. Henger selvfølgelig sammen med ledningsnettets kvalitet, alder, ledningsdimensjon, materialkvalitet, fallforhold og svanker.</p>
2	<p>*Ingen spesielle områder som utpeker seg</p> <p>*I områder hvor det er en del fremmedvann som belaster ledningsnettets, kan det bli overbelastning som slår tilbake. Dette <u>kan</u> være forårsaket av feilføring, d.v.s: at det er koblet overflatevann inn på sp-ledning. Eller i områdene hvor det er fellessystem, (sp og ov i ett) og at det er en del større flater som er drenert til ledningen.</p>	<p>Ja, det er veldig store forskjeller fra område til område. Vi har i enkelte områder omfattende fettproblem som fører til stopp. Andre områder er det sand og grus problematikk. Se også svar over.</p> <p>Her vil vi oppleve at mer sand og grus fra veivann føres ned i ledningene våre og sørger for kapasitetsproblemer/ stopp.</p> <p>Det er merkbart mer sandproblem når snøen smelter og sand/ grus spyles ned i ledningene før og under vårrengjøringen.</p>
3	<p>*Mener at det er fremmedlegemer og fett som er den største utfordringen.</p>	<p>Ja, og vi må prioritere både drift/ spyle og vedlikeholdsrutiner, rehabilitering og oppgraving. Investeres</p>

		årlig opp mot en milliard kr i oppgradering på ledningsnett i Oslo.
4	<p>*Vi har lite avløpsvann fra industri. Det oppstår en del problemer fra dårlig fungerende fettutskillere og fra de som ikke blir tømt regelmessig.</p> <p>* Når det gjelder avløp fra boliger så kan dette skje når det blir for lite vann til selvrensingen, og at en får opphopning av sanitæravfall.</p>	<p>Det er svært lite industri igjen i Oslo, så dette er ikke lenger noe problem. Restauranter har som regel gode rutiner for fett og oljeutskillere, men vi ser at det hyppigere er problemer der hvor mathusholdningene bruker større fett og olje i matlaging enn tradisjonelt. Enkelte bydeler i Oslo er det omfattende fettproblem</p> <p>Vedrørende kjelleroversvømmelser, så er det som regel to hovedkategorier.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nedbørsavhengige, dvs ledningene ikke har kapasitet til å frakte den mengden vann som kommer. Som regel er det størst problemer i bydeler hvor vi har fellessystem, dvs AF ledninger. - Kloakkstopp som følge av problemer (nevnt over)

Annet Oslo kommune: Du må huske på at vi har omlag 60 % fellesledninger (AF ledninger) her i Oslo (felles spillvann og overvann) i gamle deler av byen. Her vil vi oppleve at mer sand og grus fra veivann føres ned i ledningene våre og sørger for kapasitetsproblemer/ stopp.

Det er merkbart mer sandproblem når snøen smelter og sand/ grus spyles ned i ledningene før og under vårrengjøringen.