



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Beregning av husholdningsforbruk og variasjonsfaktorer ved bruk av sonemålinger

Calculation of household consumption and demand
factors with the use of zone measurements

Henrik Håkonsen
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på min mastergrad i Vann- og miljøteknikk ved fakultetet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Det har vært fem lærerike og spennende år, hvor jeg har utviklet meg både faglig og personlig. Gjennom arbeidet med denne oppgaven har jeg brukt mye av kunnskapen jeg har tilegnet meg de siste fem årene.

Jeg ønsker å takke min hovedveileder, Ulf Rydningen, for god faglig veiledning og støtte. Uten din veiledning og tilbakemeldinger hadde ikke prosessen med denne oppgaven vært den samme.

En stor takk til min bi-veileder, Vegard Nilsen, for støtte og veiledning gjennom arbeidet med masteroppgaven. Jeg ønsker også å takke René Astad Dupont fra Drammen kommune for levering av data og for å alltid svare på spørsmål. Uten denne hjelpen hadde ikke oppgaven blitt til.

Til slutt ønsker jeg å takke familien og min samboer for deres støtte gjennom arbeidet med denne masteroppgaven, og gjennom mine fem år som student.

Henrik Håkonsen

Ås, Mai 2022

Sammen drag

Det er viktig at vanntransportsystemet er dimensjonert slik at det har kapasitet til å levere den mengden vann som blir etterspurt av forbrukerne og oppfyller kravene til helse og miljø. Den største delen av vannforbruket går til husholdningsforbruket, det er derfor viktig å estimere husholdningsforbruket på en så god måte som mulig. I dag er det generelle anbefalinger fra Norsk Vann som brukes mest til estimering av husholdningsforbruket. Vannforbruket vil variere over året og døgnet, det brukes derfor to faktorer, døgn- og timesfaktorer, slik at disse variasjonene dimensjoneres for. Norsk Vann har kommet med anbefalinger for faktorene, som igjen er hentet fra Svenskt Vatten. I denne studien blir husholdningsforbruket, samt døgn- og timesfaktorene beregnet for et område, for så å sammenligne med anbefalingene fra Norsk Vann.

Områdene som blir analysert ligger i Drammen kommune. Det er fem ulike soner, hvor antall PE varierer fra 479 til 5604. I hver sone ble vannforbruket målt ved bruk av vannmålere, med en oppløsning på en time. Vannmålerne måler forbruket i hele sonen, noe som gjør at lekkasjer blir inkludert. Fra disse målingene ble husholdningsforbruket samt døgn- og timesfaktorene beregnet.

Denne studien viser at beregningene for husholdningsforbruket er tydelig lavere enn anbefalingene fra Norsk Vann. For døgn- og timesfaktorene kom det frem at de følger den nedre grensen fra Norsk Vann tett. Dette kan tyde på at anbefalingene fra Norsk Vann er for konservative og generelle, og kan gi en unødvendig overdimensjonering. Samtidig er det vanskelig å konkludere med noe sikkert, ettersom det bare er sett på fem soner i Drammen kommune.

Abstract

It is important that the water transport system is dimensioned so that it has the capacity to deliver the amount of water that is demanded by the consumers, in addition to meeting the health and environmental requirements. Most of the water consumption is used for household consumption, it's therefore important to estimate household consumption in the best possible way. Today, the general recommendations from Norwegian water (norsk: Norsk Vann) are used the most. Water consumption will vary over the year and day, so two peak factors are used, diurnal and hourly factors, so that these variations are dimensioned for. Norwegian Water has made recommendations for the factors, which in turn are taken from Swedish water (Svenskt Vatten). In this study, household consumption, as well as the diurnal and hourly factors are calculated for an area, and then compared with the recommendations from Norwegian water.

The analyzed areas are situated in Drammen municipality. Where data from five different zones have been used for the calculation, the number of PE varied from 479 to 5604. In each zone, water consumption was measured using water meters, which had a resolution of one hour. The water meters measure the consumption in the entire zone, which means that leaks are included. From these measurements, household consumption, as well as the diurnal and hourly factors were calculated.

This study shows that the calculations for household consumption are clearly lower than what is recommended by Norwegian Water. For the daily and hourly factors, it emerged that they follow the lower limit from Norwegian water closely. This may indicate that the recommendations from Norwegian water are too conservative and general, and may result in an unnecessary oversizing. At the same time, it is difficult to conclude with anything certain, since only five zones have been used in Drammen municipality.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurer	vi
Tabeller	vii
1 Introduksjon	1
1.1 <i>Problemstilling</i>	2
2 Bakgrunn	3
2.1 <i>Vannsystemet i Norge</i>	3
2.2 <i>Vannforbruk</i>	5
2.2.1 <i>Husholdningsforbruk</i>	7
2.3 <i>Variasjoner</i>	8
2.3.1 <i>Sesong</i>	9
2.3.2 <i>Døgn</i>	10
2.3.3 <i>Time</i>	12
2.4 <i>Praksis i andre land</i>	16
3 Metode	19
3.1 <i>Område</i>	19
3.1.1 <i>Aronsløkka</i>	19
3.1.2 <i>Bera</i>	20
3.1.4 <i>Konnerud</i>	22
3.1.5 <i>Lammersgate</i>	23
3.2 <i>Data</i>	23
3.3 <i>Data utvalg</i>	24
3.4 <i>Data håndtering</i>	27
3.5 <i>Utrekning</i>	28
3.5.1 <i>Døgnfaktor</i>	28
3.5.2 <i>Timesfaktor</i>	28
4.1 <i>Resultater fra sonene</i>	29
4.1.1 <i>Aronsløkka</i>	29
4.1.2 <i>Bera</i>	32
4.1.3 <i>Amtmannsvingen</i>	35
4.1.4 <i>Konnerud</i>	37
4.1.5 <i>Lammersgate</i>	39
4.2 <i>Husholdningsforbruk</i>	41

4.3 Døgn- og timesfaktor	43
4.4 Sammenligning av k_{maks} og $k_{snittmaks}$	46
4.5 Feilkilder	48
5 Konklusjon	49
Referanser.....	51

Figurer

Figur 1: Andel vannforbruk til ulike sektorer (Myrstad et al., 2015).	5
Figur 2: Husholdningsforbruk fordelt på ulike delposter (Bomo & Schade, 2015).....	7
Figur 3: Døgnvariasjonsfaktoren som funksjon av måneden (Ødegaard et al., 2014).	9
Figur 4: Ukes variasjon for boliger og virksomheter (Hammarlund et al., 2020).	10
Figur 5: Intervall for maks døgnfaktor husholdningsforbruk (Lindholm et al., 2012)	12
Figur 6: Eksempel på vannforbruk over et døgn (Ødegaard et al., 2014).....	13
Figur 7: Intervall for maks timefaktor husholdningsforbruk (Lindholm et al., 2012)	15
Figur 8: Kart over Aronsløkka (Finn.no, 2022).	19
Figur 9: Kart over Bera (Finn.no, 2022).	20
Figur 10: Kart over Amtmannsvingen (Finn.no, 2022).	21
Figur 11: Kart over Konnerud (Finn.no, 2022).	22
Figur 12: Kart over Lammersgate (Finn.no, 2022).	23
Figur 13: Plott over timesforbruket til Aronsløkka over hele måleperioden.....	25
Figur 14: Plott over timesforbruket for konnerud over hele måleperioden	25
Figur 15: Oppsett for målingene i excel.	27
Figur 16: Døgnforbruket for aronsløkka gjennom måleperioden.....	29
Figur 17: Plott over døgnfaktorene til Aronsløkka.....	30
Figur 18: Plott over k_{maks} for Aronsløkka gjennom måleperioden.	31
Figur 19: Plott over døgnfaktorene for bera gjennom måleperioden.	32
Figur 20: Plott over k_{maks} for Bera gjennom måleperioden.....	33
Figur 21: Plott over døgnfaktorene for Amtmannsvingen gjennom måleperioden.....	35
Figur 22: Plott over k_{maks} for Amtmannsvingen gjennom måleperioden.....	36
Figur 23: Plott over døgnfaktorene for Konnerud gjennom måleperioden	37
Figur 24: Plott over k_{maks} for Konnerud gjennom måleperioden.	38
Figur 25: Plott over døgnfaktorene for Lammersgate gjennom måleperioden.	39
Figur 26: Plott over k_{maks} for Lammersgate gjennom måleperioden.	40
Figur 27: Plott over maks døgnfaktor for hver sone sammen med den øvre og nedre grensen fra Norsk Vann.	43
Figur 28: Plott over maks timefaktor for hver sone sammen med øvre og nedre grense fra norsk vann, samt formlene fra Harmon, Babbitt, Giffit og Zhang.	44

Tabeller

Tabell 1: Omregningsfaktor for hydraulisk belastning fra institusjoner, servicevirksomhet (Ødegaard et al., 2020).....	6
Tabell 2: Resultat studie fra syd-italia (Balacco et al., 2017).	18
Tabell 3: Informasjonstabell for sonene.	24
Tabell 4: Måleintervall for de ulike sonene.....	26
Tabell 5: Oppsummering av resultatene for Aronsløkka.	32
Tabell 6: Oppsummering av resultatene for Bera.....	34
Tabell 7: Oppsummering av resultatene for Amtmannsvingen.....	36
Tabell 8: Oppsummering av resultatene for Konnerud.	39
Tabell 9: Oppsummering av resultatene for Lammersgate.	41
Tabell 10: Husholdningsforbruket for hver sone.	41
Tabell 11: f_{maks} , k_{maks} og $k_{snittmaks}$ for hver sone.	45
Tabell 12: Beregnet maks timesforbruk ved bruk k_{maks} og $k_{snittmaks}$ for hver sone.	46
Tabell 13: Prosent av målt maks timesforbruk ved bruk av k_{maks} og $k_{snittmaks}$ for hver sone.	46

1 Introduksjon

Vann er en grunnleggende ressurs for menneskers overlevelse. Det er avgjørende at det vannet som vi forbruker er trygt, helt fra det blir renset i rensenanlegget til det kommer ut av springen. For å sikre vannet sin transport ut til forbrukerne har det over mange år blitt utbygd et stort ledningsnett over hele landet. Dette ledningsnettet sørger for at kvaliteten og leveringssikkerheten er god nok, slik at det er trygt å bruke. Ved dimensjoneringen av ledningsnettet er det mange variabler som må tas hensyn til. En av disse variablene er hva det spesifikke forbruket til en person er i løpet av en dag. Vann forbrukes til mange ting, for en husholdning i Norge vil 23 % gå til toalettspyling, 31 % til personlig hygiene, 6 % til matlaging, 15 % til oppvask, 19 % til klesvask og 6 % til annet (Bomo & Schade, 2015). Tilsammen utgjør dette en mengde på 150 liter per person per dag (Lindholm et al., 2012). Ved å inkludere offentlig bruk (brannvann, gatespyling, spyling av ledninger) øker forbruket til 160 liter (Lindholm et al., 2012). Dette er noe høyere enn Sverige som forbruker 157 liter (SCB, 2015), mens Danmark bare forbruker 107 liter per person per døgn, ifølge rapporten til Bomo og Schade (2015).

En annen viktig faktor ved dimensjonering av ledningsnettet er time- og døgnfaktorer. Disse sier noe om variasjonen av forbruket gjennom året og døgnet. De vil avhenge av ulike variabler, som årstid, tidspunkt på dagen og antall personer som er koblet til ledningsnettet. De vil også avhenge av hvordan type område ledningsnettet skal dimensjoneres for, for eksempel om det er et boligfelt eller et industriområde.

Det å ha gode og sikre verdier for det spesifikke forbruket og time- og døgnfaktorene er viktig for at dimensjoneringen av ledningsnettet oppfyller de kravene som er satt. Dette vil sikre trygt og godt vann for forbrukerne.

1.1 Problemstilling

Målet med denne avhandlingen er å beregne husholdningsforbruket, samt døgn- og timesfaktorene, på lokale forhold ved bruk av vannmålerdata. Beregningene skal så sammenlignes med dagens anbefalinger. Det skal også sammenlignes to ulike måter å beregne den maksimale timesfaktoren på, for å se hvilken som representerer realiteten nærmest. Problemstillingen kan deles inn i følgende punkter:

- Hva er grunnlaget for dagens anbefalinger for husholdningsforbruk og variasjonsfaktorer.
- Bør dagens anbefalinger for husholdningsforbruk og variasjonsfaktorer baseres på beregninger gjort på lokale forhold, for en mer optimal dimensjonering.
- Er det en sammenheng mellom den maksimale døgnfaktoren og den maksimale timesfaktoren.
- Hvilken beregningsmetode av den maksimale timesfaktoren representerer virkeligheten nærmest.

2 Bakgrunn

Det er viktig at vannsystemet dimensjoneres slik at det kan håndtere etterspørselen fra forbrukerne med hensyn til deres helse ("Drikkevannsforskriften," 2016). Samt at det i krisetilfeller har kapasitet til å bistå brannvesenet ved behov med slokkevann ("Forskrift om brannforebygging," 2015). For at dette skal være tilfelle er det viktig at husholdningsforbruket og variasjonene blir analysert på en nøyaktig måte. Bakgrunnen for hvordan dette gjøres er beskrevet under.

2.1 Vannsystemet i Norge

Norges vannsystem er bygd opp av ulike deler. Først blir vannet hentet fra forskjellige vannkilder. Deretter blir det renset, før så å bli sendt videre ut på overføringssystemet. Fra overføringssystemet går vannet inn til forbrukeren. Etter vannet har blitt brukt føres det ut i avløpsledninger som tar med avløpet til renseanlegget. Der blir avløpet renset før det slippes ut i en resipient.

Norge er veldig heldige som har god tilgang på ferskvann som kan brukes til drikkevann. Det er tre hovedtyper av vannkilder vi bruker i Norge, det er elv eller bekk, innsjø eller tjern og grunnvann fra løsmasser eller fjell. Ca. 80 % av vannet vi produserer kommer fra innsjøer, 10 % fra elver og bekker og 10 % fra grunnvann (Ødegaard et al., 2014). Vannkvaliteten fra de ulike vannkildene varierer mye. Den er som regel best for grunnvann, og dårligst for elver og bekker. Det er både menneskelige forurensninger (jordbruk, industri, turgåing etc.) og naturlige forurensninger (avføring fra ville dyr, humus, kalk etc.) som påvirker vannkvaliteten (Ødegaard et al., 2014).

Formålet med drikkevannsforskriften er: «beskytte menneskers helse ved å stille krav om sikker levering av tilstrekkelig mengder helsemessig trygt drikkevann som er klart og uten

fremtredende lukt, smak og farge» ("Drikkevannsforskriften," 2016). Det er derfor nødvendig med rensing av vannet som kommer fra vannkilden. For å sikre at vannet oppfyller kravene fra drikkevannsforskriften må vannet gjennom et vannbehandlingsanlegg. Her blir partikler, organisk og uorganisk stoff fjernet, samt at mikroorganismer blir inaktivert. Det er ulike prosesser som brukes for å oppnå kravene, hvilke som brukes avhenger av kvaliteten på råvannet.

Før forbrukeren får vannet ut av springen må det gjennom et overføringssystem. Dette systemet består av ledninger, pumpestasjoner og utjevningsmagasiner. Mye av overføringssystemet baserer seg på selvføll, men det er også nødvendig med pumping i områder hvor selvføll ikke er mulig. Formålet med overføringssystemet er å frakte vannet trygt fra vannbehandlingsanlegget til forbrukeren.

Fra forbrukeren går det brukte vannet ut i avløpsnett. Avløpsnett fører det brukte vannet, sammen med overvann, fra forbrukeren til renseanlegget. I Norge har det vært vanlig med fellessystem inntil de siste årene, hvor normen har blitt omlegging til separertsystem. For å sikre vannkvaliteten til resipienten som avløpet slippes ut i er det viktig at det renses først. Kravene til kvaliteten på avløpet som slippes ut, avhenger av hvilken sone resipienten befinner seg i. Fra forurensingsforskriften er det beskrevet tre ulike områder: følsomme, normale og mindre følsomme områder ("Forurensningsforskriften," 2004). Ut ifra hvilken sone resipienten ligger i velges de nødvendige renseprosessene for å tilfredsstillere kravene.

2.2 Vannforbruk

Ved dimensjonering av vannforbruket til et område er det ulike deler som inngår i beregningen. Se formelen for Q_T nedenfor.

$$Q_T = Q_h + Q_i + Q_l + Q_a + Q_b \quad (1)$$

Q_T = Det totale vannforbruket [$\text{m}^3/\text{år}$]

Q_h = Husholdningsforbruket [$\text{m}^3/\text{år}$]

Q_i = Vannforbruket til industrien [$\text{m}^3/\text{år}$]

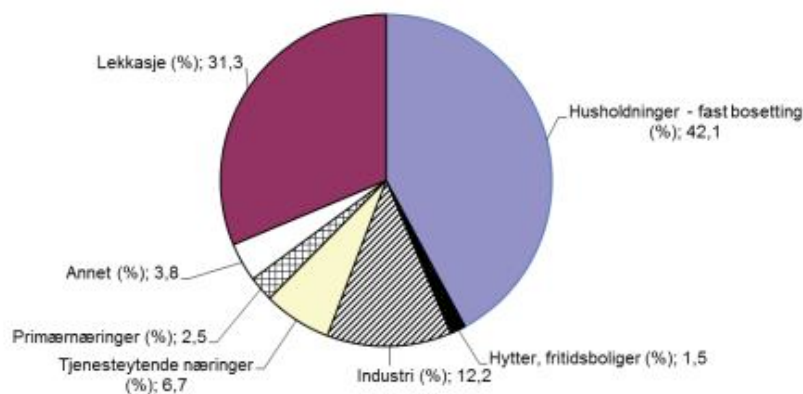
Q_l = Tapt vannforbruk fra lekkasjer [$\text{m}^3/\text{år}$]

Q_a = Annet vannforbruk (offentlig bruk, hagevanning etc) [$\text{m}^3/\text{år}$]

Q_b = Brannvann [$\text{m}^3/\text{år}$]

For at dimensjoneringen skal bli riktig må alle verdiene anslås så nøyaktig som mulig. Hva de ulike vannforbrukene representerer er beskrevet nærmere under.

Tall fra statistisk sentralbyrå (SSB) viser at 84,7 % av alle innbyggere i Norge er tilkoblet den kommunale vannforsyningen, og hvor den totale vannleveransen var på 690 885 966 m^3 (Statistisk sentralbyrå, 2021b). Av denne vannleveransen var 30,5 % lekkasjer (2021b). Fra **Error! Reference source not found.**, utgjør lekkasjer den nest største delen av vannforbruket i Norge. Dette er et gjennomsnitt for hele Norge og vil variere en del mellom kommunene.



FIGUR 1: ANDEL VANNFORBRUK TIL ULIKE SEKTORER (MYRSTAD ET AL., 2015).

Den største delen av vannforbruket er husholdningsforbruk, som utgjør 42,1 %. Den tredje største delen av vannforbruket går til industri og næring, som til sammen forbruker 21,4 %. Under denne sektoren inngår virksomheter som jordbruk, sykehus, vaskerier, bryggerier osv. Hvor stort vannforbruk de ulike virksomhetene har er vist i Tabell 1. Dette er grove verdier og vil varierer mye fra virksomhet til virksomhet.

TABELL 1: OMREGNINGSAKTOR FOR HYDRAULISK BELASTNING FRA INSTITUSJONER, SERVICEVIRKSOMHET (ØDEGAARD ET AL., 2020).

Type virksomhet	Hydraulisk belastning
Barneskoler, ungdomsskoler og videregående skoler	30 l/elev · døgn
Arbeidsplasser	60 l/ansatt · døgn
Sykehus inkl. betjening	470 l/seng · døgn
Pleiehjem	340 l/seng · døgn
Hoteller; høy standard	375 l/overnattingsdøgn
Hoteller; midlere standard, pensjonater	205 l/overnattingsdøgn
Hytter; høy standard (dusj, WC, oppvaskmaskin)	115 l/gjestedøgn
Hytter; innlagt vann, uten WC	55 l/gjestedøgn
Restauranter, kafeer	75 l/stol · døgn
Svømmehaller	75 l/besøkende · døgn
Forsamlingslokaler	5 l/sitteplass · døgn

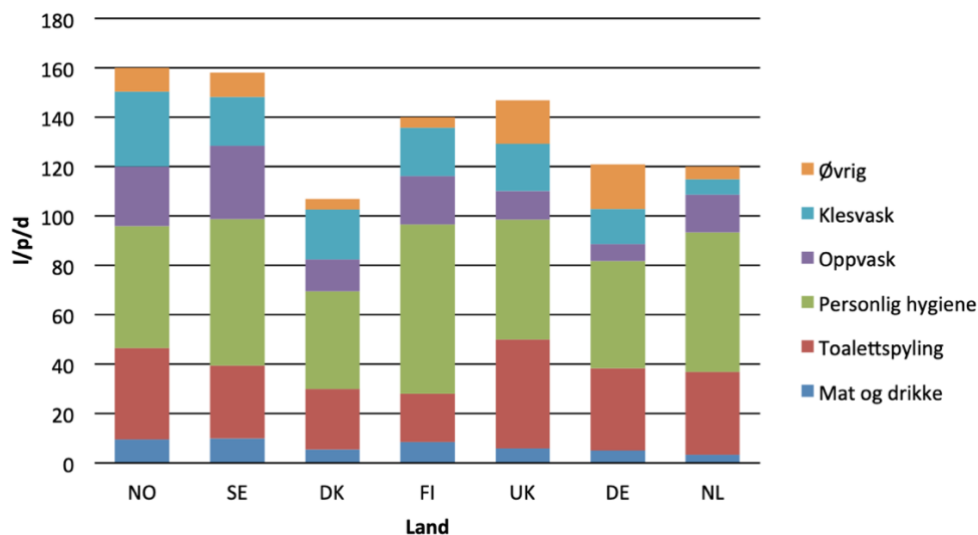
Det er også krav om nok tilgjengelig vann til brannslukning. Fra Plan- og Bygningsloven er det gitt en veiledning på 20 l/s for småhusbebyggelse og 50 l/s for annen bebyggelse ("Plan- og bygningsloven – pbl," 2008). Dette er for å sikre at det er nok kapasitet i ledningene ved en brann.

Det er til slutt en del som heter «annet». Vannforbruket som inngår i denne delen, er typisk offentlig bruk. Det kan være vasking av veier, spyling av rør og brannvann.

Andelen vannforbruk for de ulike sektorene vil variere mye fra land til land. I Danmark hadde de en lekkasje andel på bare 7,3 % i 2019 (Højrup et al., 2020). Mens i Afrika som livnærer seg hovedsakelig på jordbruk, er andelen av vannforbruket som går til dette så høy som 86 % (*Water for agriculture and energy in Africa: The challenges of climate change* 2008).

2.2.1 Husholdningsforbruk

Husholdningsforbruk er det vannforbruket som blir brukt innenfor en husholdning. Dette er forbruk til personlig hygiene, toalettspyling, oppvask, klesvask, mat og drikke. I Figur 2 er det en oversikt over fordelingen av husholdningsforbruket på ulike delposter for syv land.



FIGUR 2: HUSHOLDNINGSFORBRUK FORDELT PÅ ULIKE DELPOSTER (BOMO & SCHADE, 2015).

Denne forbrukstypen utgjør den største delen av det totale vannforbruket i Norge, 42,1 %. Siden det utgjør en såpass stor andel, er det viktig å vite hva det spesifikke husholdningsforbruket er. Det er flere verdier som brukes rundt om i kommunene. Tall fra SSB i 2020 ble det spesifikke husholdningsforbruket beregnet til 180 l/p/d (Statistisk sentralbyrå, 2021b), mens en rapport fra Norsk Vann fra 2016, hvor det ble brukt data fra vannmålere, beregnet det spesifikke husholdningsforbruket til 138 l/p/d (Sivertsen & Bomo, 2016). Det er bransjestandarden på 160 l/p/d som er anbefalingen fra Norsk Vann sin rapport *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem* (Lindholm et al., 2012). Mye av grunnen til at det så store forskjeller er at verdiene ikke er basert på faktiske observasjoner, men heller antagelser. Med en så lav vannmålerdekning som vi har i Norge er det vanskelig å måle konkret hva det spesifikke husholdningsforbruket er. Tall fra SSB viser at bare 34,6 % av husholdningsabonentene har installert vannmåler (Statistisk sentralbyrå, 2021b).

Det er også store forskjeller internasjonalt. I Sverige har de beregnet at det spesifikke husholdningsforbruket er på 157 l/p/d (SCB, 2015). For Danmark er tallet mye lavere, der har

de beregnet forbruket til 101 l/p/d (Højrup et al., 2020). Det er flere forhold som avgjør hvor stort husholdningsforbruket er. Det er faktorer som kultur, økonomi, verdisynet på vann, sosiale faktorer etc (Koutiva et al., 2017). En studie fra 2009 kom også fram til at tilliten til myndighetene og befolkningen generelt hadde en påvirkning på husholdningsforbruket (Jorgensen et al., 2009). Uten tillit til at andre sparer på vannet og uten tillit til myndighetene, vil ikke folk spare og minske husholdningsforbruket sitt, dette er en form for allmenningens tragedie (SnI, 2018).

Det er flere konkrete tiltak som kan settes inn for å redusere det spesifikke husholdningsforbruket. Det kan være bruken av ny teknologi som har til hensikt å spare vann. Dette kan være sparedusjer og sparettoaletter, vaskemaskiner med spareprogram og bruken av vannmålere som gjør at forbrukeren betaler for akkurat det vannet de bruker. En annen mulighet er bruken av kampanjer som gjør befolkningen oppmerksom på vannforbruket de har og forsøker å senke denne. En studie gjort av Bomo og Schade så på hva vannsparepotensiale til Oslo kan være ved bruken av vannsparende teknologi og kampanjer ved å sammenligne med effekten fra andre land. De kom frem til at sparepotensiale for det spesifikke husholdningsforbruket var med «best guess» på 13 % (Bomo & Schade, 2015).

Siden bruken av det spesifikke husholdningsforbruket er så sentralt ved dimensjonering av vanddistribusjonsnett, er det viktig å vite så nøyaktig som mulig hva denne ligger på. Hvis den antatte verdien er for høy, kan det potensielt føre til en overdimensjonering av ledningsnett. Samtidig er det viktig at kapasiteten i rørene er store nok til å håndtere etterspørselen.

2.3 Variasjoner

Vannforsyningsnett skal dimensjoneres slik at det kan levere den etterspørselen som er, uavhengig hvilken dag det er eller tid på døgnet. For at ledningene skal ha kapasitet til dette må de dimensjoneres ut ifra hva det maksimale vannforbruket er i løpet av året. Det maksimale vannforbruket vil ikke opptre ofte i løpet av et år, men når det først oppstår må ledningene kunne håndtere det. Som forklart i formel 1, dimensjoneres ledningene fra det totale vannforbruket, hvor flere delforbruk er medregnet. Men for å finne det maksimale

vannforbruket som ledningene dimensjoneres etter, må husholdningsforbruket multipliseres med ulike faktorer som vist nedenfor.

$$Q_{maks} = Q_h * f_{maks} * k_{maks} \quad (2)$$

Q_{maks} = Maksimale husholdningsforbruket [l/s]

Q_h = spesifikke husholdningsforbruket [l/s]

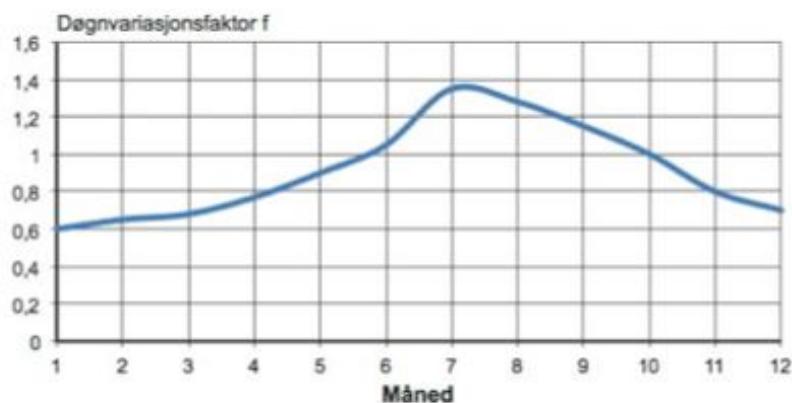
f_{maks} = maks døgnfaktor

k_{maks} = maks timefaktor

Husholdningsforbruket vil variere mye i løpet av et år. Det avhenger av hvilken årstid det er, dag i uken og hvilken time i døgnet det er. Disse variasjonene blir beskrevet nærmere under.

2.3.1 Sesong

Husholdningsforbruket vil variere ut ifra hvilken årstid det er, som vist i figuren nedenfor.



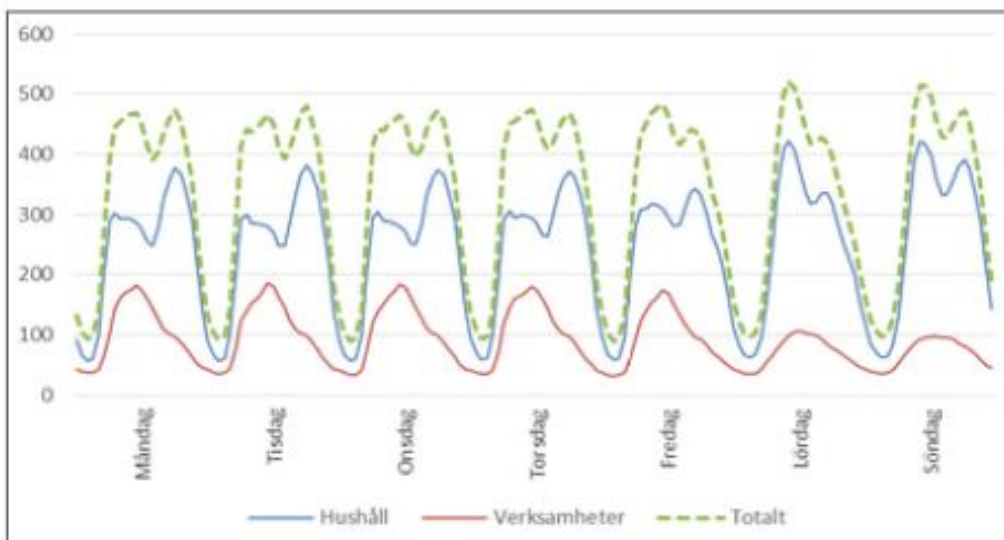
FIGUR 3: DØGNVARIASJONSFAKTOREN SOM FUNKSJON AV MÅNEDEN (ØDEGAARD ET AL., 2014).

Forbruket er høyest på sommeren og lavest om vinteren (Bergel et al., 2017). Noen av grunnen til dette er at det om sommeren brukes mer vann utendørs, som for eksempel til vanning og vasking av hus og bil, enn det gjøres om vinteren. Det vil også være en variasjon mellom

kommuner i feriemånedene. Typiske feriekommuner vil ha en økning i vannforbruket i feriemånedene, mens kommuner med en høy andel fastboende vil ha et lavere vannforbruk i feriemånedene. Grunnen til dette er at folk forflytter seg fra sin fastebolig til et feriested. Det gjør at det totale vannforbruket vil variere gjennom året.

2.3.2 Døgn

Som vist i formel 2 brukes en døgnfaktor f . Denne tar hensyn til variasjonen vannforbruket vil ha over året. Vannforbruket vil, som nevnt over, være høyere på sommeren enn på vinteren, men det vil også være en variasjon gjennom uken. Husholdningsforbruket vil være høyere i helga enn i ukedagene. Noe av grunnen til dette er at de fleste er på skole eller jobb i ukedagene, noe som gjør at husholdningsforbruket vil være lavere. I helgene tilbringer man mer tid hjemme som gjør at husholdningsforbruket vil være noe høyere. For virksomheter vil vannforbruket være høyere i ukedagene enn i helga, dette er fordi virksomhetene operer stort sett bare i ukedagene.



FIGUR 4: UKES VARIASJON FOR BOLIGER OG VIRKSOMHETER (HAMMARLUND ET AL., 2020).

For å sikre at ledningene har kapasitet til å håndtere disse variasjonene brukes døgnfaktoren f . Den beregnes ut ifra gjennomsnittets døgnet over året. Det er hovedsakelig to varianter av døgnfaktoren som brukes. Det er den maksimale døgnfaktoren f_{maks} og den minimale døgnfaktoren f_{min} . Formler for utregning av f_{maks} og f_{min} er vist nedenfor.

$$f_{maks} = \frac{Q_{maksdøgn}}{Q_{midleredøgn}} \quad (3)$$

f_{maks} = Maks døgnfaktor

$Q_{maksdøgn}$ = Maks døgnforbruk gjennom året

$Q_{midleredøgn}$ = Midlere døgnforbruk gjennom året

$$f_{min} = \frac{Q_{mindøgn}}{Q_{midleredøgn}} \quad (4)$$

f_{min} = Minste døgnfaktor

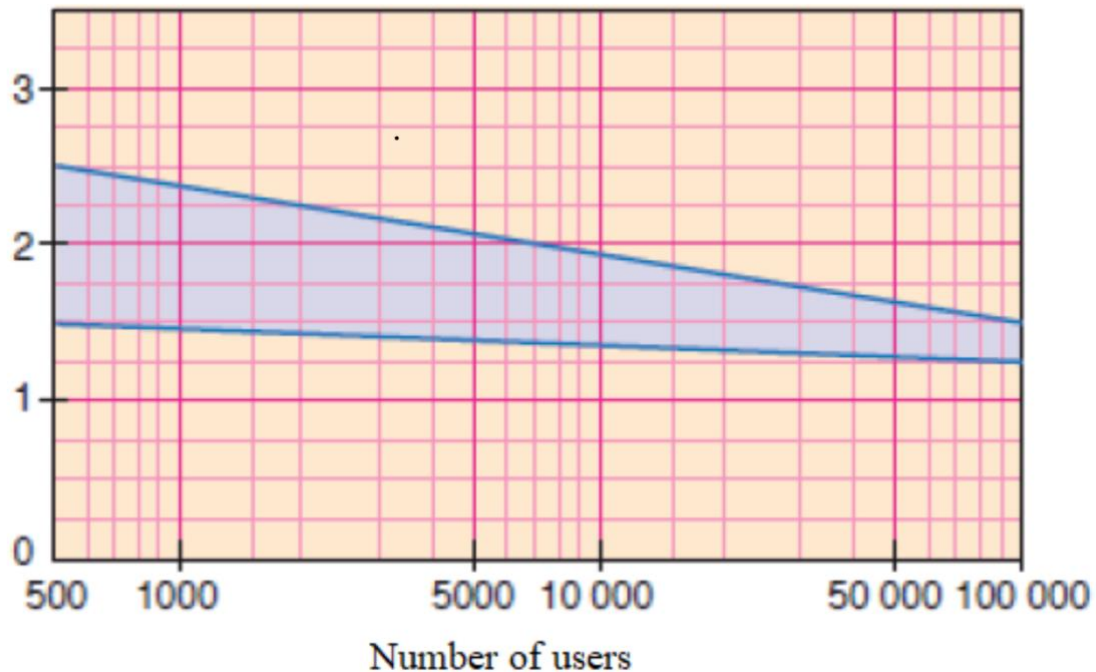
$Q_{mindøgn}$ = Minste døgnforbruk gjennom året

$Q_{midleredøgn}$ = Midlere døgnforbruk gjennom året

f_{maks} ligger som regel på 1,3 for store anlegg og 1,6 for små anlegg, f_{min} ligger i området 0,6 for små anlegg og 0,8 for store anlegg (Lindholm et al., 2012). Den vil variere med hensyn på antall personer som er koblet til anlegget. Som vist i Figur 5 vil den synke med økende antall forbrukere.

Anbefalingene fra Norsk Vann sin rapport nr 193 *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem* for den maksimale døgnfaktoren er vist i Figur 5. Disse anbefalingene er hentet fra Svensk Vatten sin rapport P83, som også er videreført til den reviderte versjonen P114. De er basert på svenske forhold.

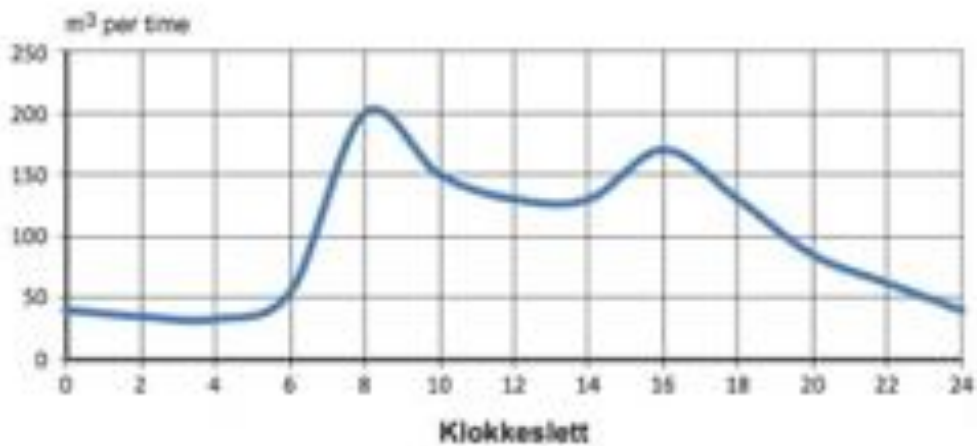
Maximum diurnal factor (f_{max})



FIGUR 5: INTERVALL FOR MAKS DØGNFAKTOR HUSHOLDNINGSFORBRUK (LINDHOLM ET AL., 2012)

2.3.3 Time

I tillegg til døgnfaktoren f , brukes også en timesfaktor k . Denne faktoren beskriver variasjonen i vannforbruket over døgnet. Forbruket i den mest intense timen gjennom døgnet kan være dobbelt så stor som den midlere timen (Ødegaard et al., 2014). Noe av grunnen til dette er at folk bruker mye vann på morgningen før skole og jobb. Da mange dusjer, lager mat og forbruket vann til personlig hygiene samtidig. Dette gjør at vannforbruket øker i den tiden før den synker litt gjennom dagen og øker igjen når folk kommer hjem fra jobb og skole. Et eksempel på vannforbruket gjennom en dag kan ses i Figur 6 under.



FIGUR 6: EKSEMPEL PÅ VANNFORBRUK OVER ET DØGN (ØDEGAARD ET AL., 2014)

Vannforbruket vil også påvirkes fra virksomheter som er koblet til anlegget. Variasjonen til vannforbruket fra disse vil ha en forsinket topp som vist i Figur 4. Det er fordi de som forbruker vannet i virksomhetene er de samme som forbruker vann i husholdningene. Siden toppene i vannforbruket ikke sammenfaller vil det i et blandet område, hvor boliger utgjør ca 70%, være husholdningsforbruket som er førende for dimensjoneringen (Törneke et al., 2020). For områder med høyere grad av virksomheter må det gjøres undersøkelser for disse områdene som ser på hva som vil bli førende verdier (Törneke et al., 2020).

Variasjonene på timenivå blir som regel håndtert av et utjevningsvolum, som et høydebasseng. Hvis det ikke er mulig med et slikt utjevningsvolum må ledningene dimensjoneres for disse variasjonene ved bruk av maks timesfaktor k_{maks} . Formelen for k_{maks} er vist nedenfor.

$$k_{maks} = \frac{Q_{makstime}}{Q_{midleretime}} \quad (5)$$

K_{maks} = Maks timesfaktor

$Q_{makstime}$ = maksimale timeforbruket over døgnet

$Q_{midleretime}$ = midlere timeforbruk over døgnet

Størrelsen på denne faktoren vil avhenge av hvor mange personer som er tilknyttet anlegget. Faktoren vil synke med økende antall personer tilknyttet anlegget (Lindholm et al., 2012). Det er ettersom et lite anlegg med få personer tilknyttet, vil vannforbruket påvirkes mye når flere bruker vann samtidig enn ved et stort anlegg. For eksempel hvis det er et anlegg med 1000 personer tilknyttet vil vannforbruket øke mye hvis det er 100 personer som dusjer samtidig, kontra hvis det er 50 000 personer tilknyttet anlegget.

Det blir også sett på en gjennomsnittsfaktor for å kunne sammenligne med k_{maks} for tilfeller hvor f_{maks} og k_{maks} ikke inntreffer på samme dag. Faktoren beregnes ved å ta gjennomsnittet av alle maksimale timesfaktorer for hver dag som er beregnet for måleperioden. Denne kalles for snitt maks timesfaktor ($k_{snittmaks}$). Formelen for $k_{snittmaks}$ er beskrevet nedenfor.

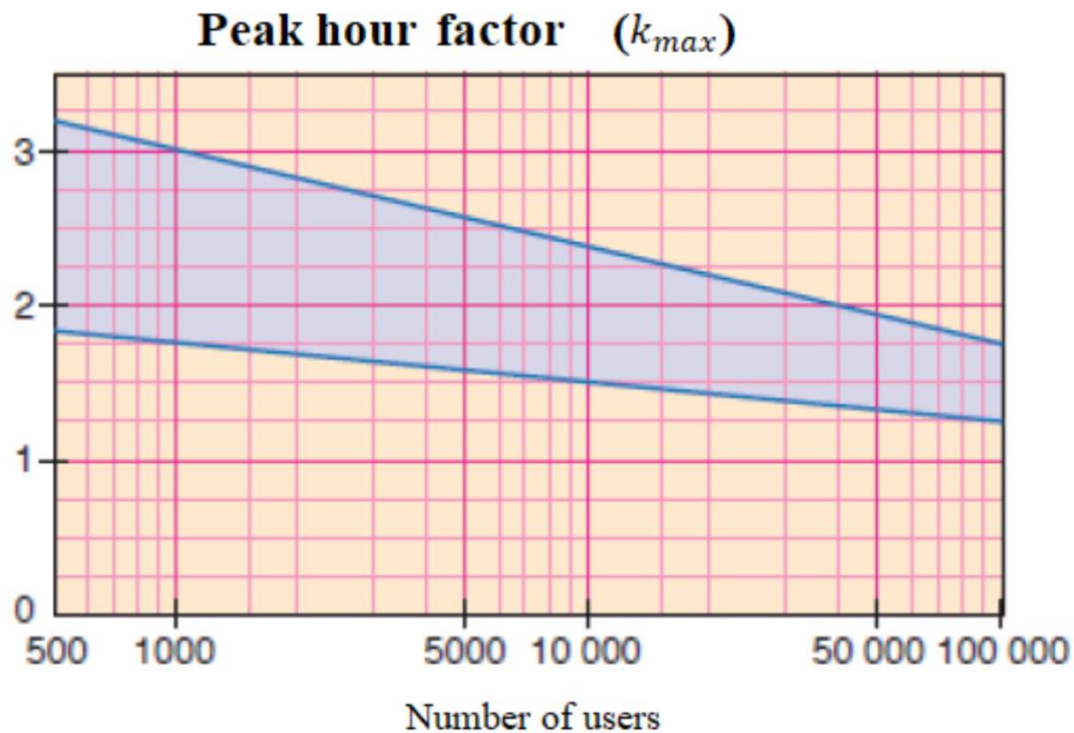
$$k_{snittmaks} = \frac{\sum_{i=0}^n k_{maks_i}}{n} \quad 6$$

$K_{snittmaks}$ = Gjennomsnitt maks timesfaktor

K_{maks_i} = Maks timesfaktor per dag

n = antall dager i måleperioden

Hvis det ikke er nok tilgjengelig informasjon til å bestemme timesfaktoren for det konkrete området er anbefalingen fra Norsk Vann å bruke verdiene som er vist i Figur 7.



FIGUR 7: INTERVALL FOR MAKS TIMEFAKTOR HUSHOLDNINGSFORBRUK (LINDHOLM ET AL., 2012)

Verdiene for døgn- og timefaktorene er hentet fra Sverige, noe som betyr at de ikke er basert på norske forhold. Sverige og Norge har en del likhetstrekk når det kommer til vannsystemet. De viktigste parameterne for å avgjøre om verdiene kan overføres til Norge er: husholdningsforbruket, lekkasjeandelen og forbruksmønsteret. Det anbefalte husholdningsforbruket til dimensjonering i Sverige er satt til 120-150 l/p/d, hvis det ikke er nok informasjon for det spesifikke tilfellet (Törneke et al., 2020). I Norge er det satt til 150-160 l/p/d (Lindholm et al., 2012). Lekkasjeandelen vil variere veldig fra område til område og må undersøkes nærmere i de ulike tilfellene. I Norge varierer det fra 20% til 60%, med et gjennomsnitt på 32% (Lindholm et al., 2012), mens i Sverige er den gjennomsnittlige lekkasjeandelen på 15% (Karlsson, 2022). Dette viser at flere faktorer ikke er like for Norge og Sverige, noe som kan påvirke døgn- og timesfaktorene.

2.4 Praksis i andre land

Døgn- og timesfaktorene brukes også i flere andre land for dimensjonering av vannsystemer. Selv om det er ønskelig å vurdere disse ut ifra de spesifikke lokale forholdene, er det laget noen anbefalinger som kan brukes i tilfeller hvor det ikke er tilstrekkelig med informasjon. I England varierer timesfaktoren mellom 1,75 og 2,25 avhengig av størrelsen på området og forholdet mellom boliger og industri (Brandt et al., 2016). I USA kan timesfaktoren være så høy som 3 i øst-statene og 5 i vest-statene ved varmt vær, men ligger som regel mellom 2 og 3,4 (Brandt et al., 2016). For den Canadiske provinsen Newfoundland og Labrador varierer døgnfaktoren mellom 1,5 og 2,75, mens timesfaktoren varierer mellom 2,25 og 4,13 (Government of Newfoundland and Labrador 2005). Begge faktorene synker med økende populasjon som er tilknyttet anlegget. Som nevnt er det flere faktorer som må sees i sammenheng med verdiene, disse er hovedsakelig husholdningsforbruket, klima og lekkasjer. Klima kan ha en ekstra stor påvirkning i land med veldig varme og tørre perioder. Dette gjør at behovet for vannforbruk knyttet til vanning øker mye, som igjen har en påvirkning på døgn- og timesfaktorene. Dette kan man se mellom de østlige statene i USA og de vestlige. Hvor de vestlige statene med varmere klima kan ha en timesfaktor på 5 mens det østlige ligger rundt 3.

Det er formulert flere formler som prøver å beskrive døgn- og timesfaktorer. En av de meste kjente er Harmon formelen som er vist nedenfor (Harmon, 1918).

$$PF = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (7)$$

PF = Maks timesfaktor

P = Antall forbrukere i tusen

Selv om denne formelen er gammel, er den fortsatt i bruk i dag. Blant annet brukes den i Winnipeg i Canada (*Wastewater flow estimation and servicing guidelines* 2020). En annen formel er Babbitt formelen, som er vist nedenfor (Babbitt, 1958).

$$PF_2 = \frac{5}{P^{0,2}} \quad (8)$$

PF_2 = Maks timesfaktor

P = antall forbrukere i tusen

Gifft brukte data fra flere studier til å revidere Babbitt formelen til formelen vist nedenfor (Gifft, 1945).

$$PF_3 = \frac{5}{P^{0,167}} \quad (9)$$

PF_3 = Maks timesfaktor

P = antall forbrukere i tusen

Alle disse formlene beskriver maks timesfaktor for avløpsvannet. Det er mulig å bruke de for vannsystemet også hvis man antar at alt vannforbruk fra forbrukerne går videre til avløpssystemet, samt at det ikke er inn lekk fra fremmedvann eller at det er fellessystem. Det er få formler som beskriver variasjonen i vannforbruket, men en studie fra 2005 kom fram til en formel for variasjonen i vannforbruket. Den bruker en Poisson Rectangular Pulse (PRP) modell sammen med Extreme Value Theory til å lage formelen nedenfor (Zhang et al., 2005).

$$PF_4(P_Cp = 0,999) = 2,5 + \frac{2,18}{\sqrt{P}} \quad (10)$$

PF_4 = Maks timesfaktor

P = antall forbrukere i tusen

Denne formelen kan endres ut ifra hvor høy grad av sikkerhet som er ønskelig. Formelen ovenfor har en sikkerhetsgrad som gjør at sannsynligheten for at vannforbruket skal overstige det formelen beregner er 1 til 1000. Som vil si at vannforbruket vil overstige gjennomsnittlig en gang hver tusende dag (Zhang et al., 2005).

En studie fra Syd-Italia så på data fra 129 byer i Puglia regionen. For hver by ble det tatt vannforbruk målinger i en uke med en oppløsning på 1, 3 og 5 minutter (Balacco et al., 2017). Fra disse målingene ble det beregnet maks timesfaktorer som ble sammenlignet med formlene som er beskrevet over. Resultatet viste at alle formlene overestimerte 99 % til 100 % av gangene (Balacco et al., 2017).

TABELL 2: RESULTAT STUDIE FRA SYD-ITALIA (BALACCO ET AL., 2017).

	Babbitt	Giff	Harmon	Zhang
Overestimated data	99,22%	100,00%	99,22%	100,00%
Average overestimation	1,98	2,13	1,84	2,07
Maximum overestimation	3,76	3,83	3,09	3,48

Dette viser at det er vanskelig å beskrive variasjonen i vannforbruket ved hjelp av en formel. Det er mange tilfeldigheter og lokale forhold som vil påvirke dette. Det tyder på at den beste metoden er å gjøre målinger på det spesifikke området for å beregne døgn- og timesfaktorer. Hvis dette ikke er mulig, kan bruken av formler eller generelle anbefalinger være et alternativ. Det er viktig å være klar over at formlene som er beskrevet over er gamle og at det har skjedd mye med vannsystemet siden disse formlene ble beskrevet.

3 Metode

3.1 Område

Området som er studert ved denne oppgaven er ulike soner i Drammen kommune. Drammen kommune ligger sør-vest for Oslo i Viken fylke og har 102 302 innbyggere per 2021 (Statistisk sentralbyrå, 2021a). Drikkevannet i Drammen kommune kommer hovedsakelig fra tre innsjøer, Glitre, Røysjø eller Blindevann (Drammen kommune, 2021).

Dataen som analyseres er fra 5 ulike vannsoner i Drammen. Sonene er Aronsløkka, Bera, Amtmannsvingen, Konnerud og Lammersgate. I de påfølgende kapitlene kommer en nærmere beskrivelse av de utvalgte sonene.

3.1.1 Aronsløkka

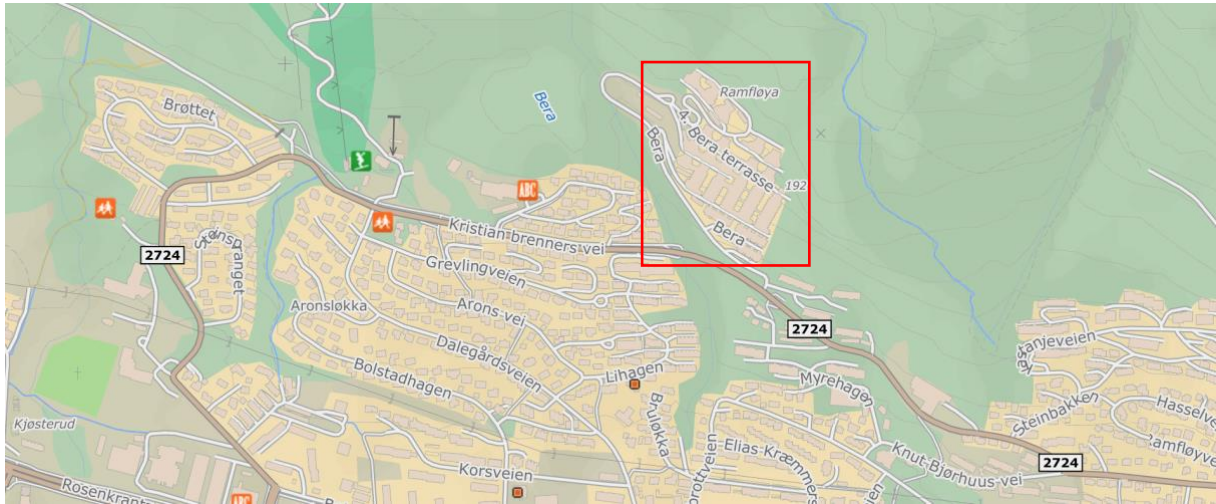
Aronsløkka er et område som ligger vest i Drammen, med hovedsakelig eneboliger. Det er 1243 personer tilkoblet denne sonen, med et gjennomsnittlig forbruk per person på 130 l/d/pers.



FIGUR 8: KART OVER ARONSLØKKA (FINN.NO, 2022).

3.1.2 Bera

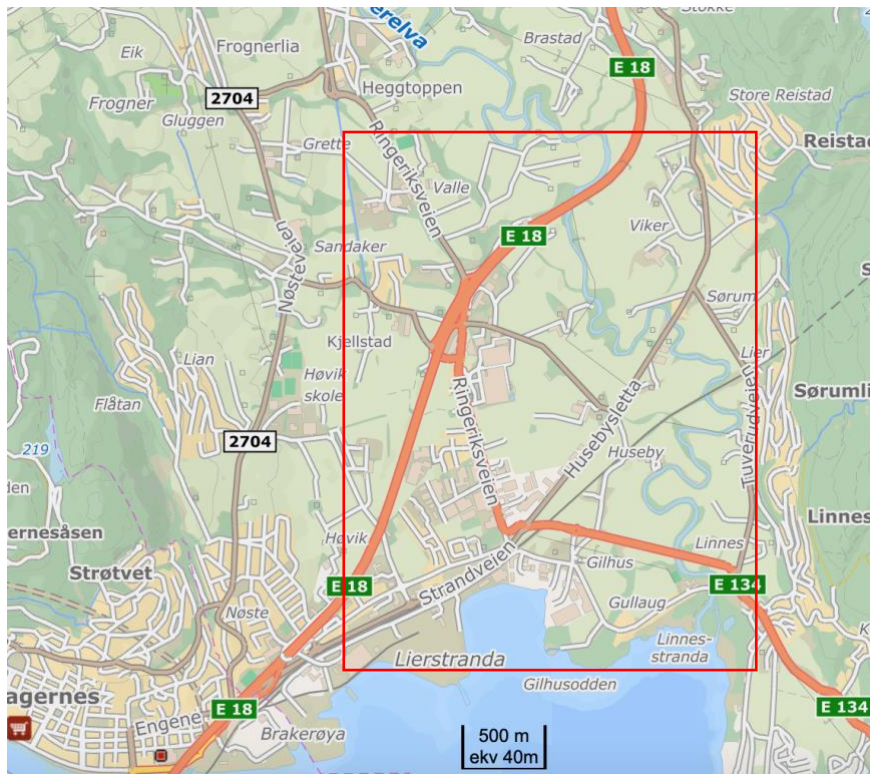
Bera ligger rett nord for Aronsløkka, men er et område som består av blokker. Det er 479 personer som er tilkoblet denne sonen. Forbruket per person er opplyst til å være 111 l/d/pers.



FIGUR 9: KART OVER BERA (FINN.NO, 2022).

3.1.3 Amtmannsvingen

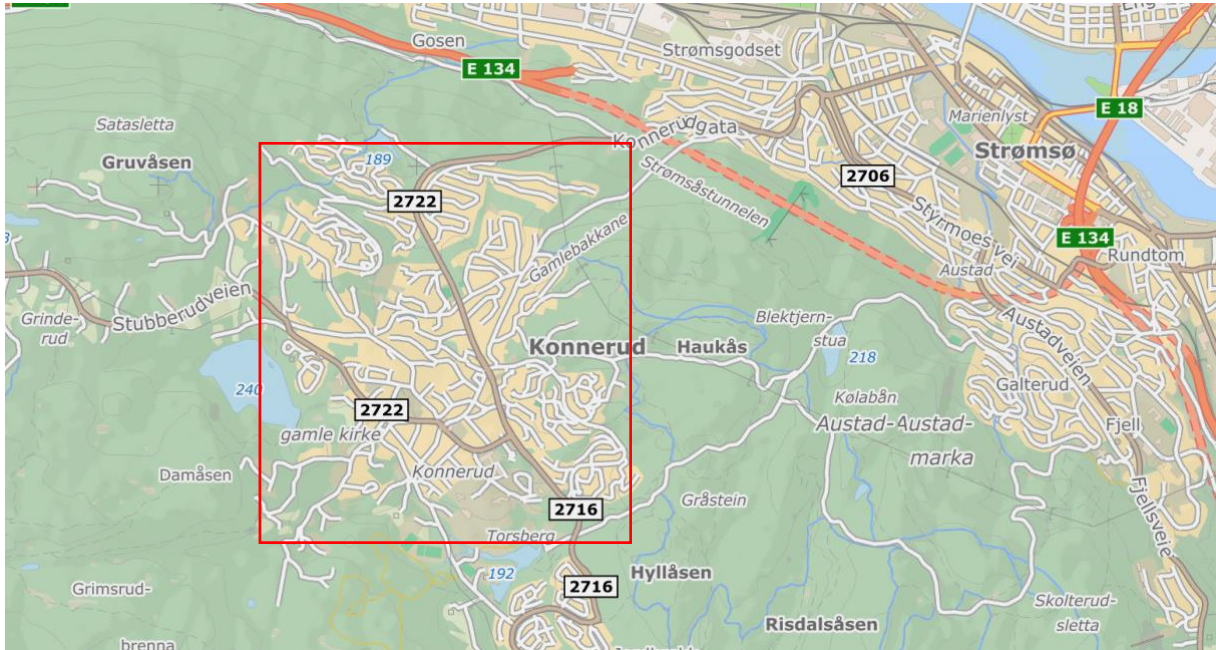
Amtmannsvingen ligger øst for Drammen sentrum. Det er 2043 personer som er tilkoblet denne sonen. Forbruket per person er opplyst til å være 117 l/d/pers. Det er en sone som er mer påvirket av industri og næring enn det de andre er.



FIGUR 10: KART OVER AMTMANNSSVINGEN (FINN.NO, 2022).

3.1.4 Konnerud

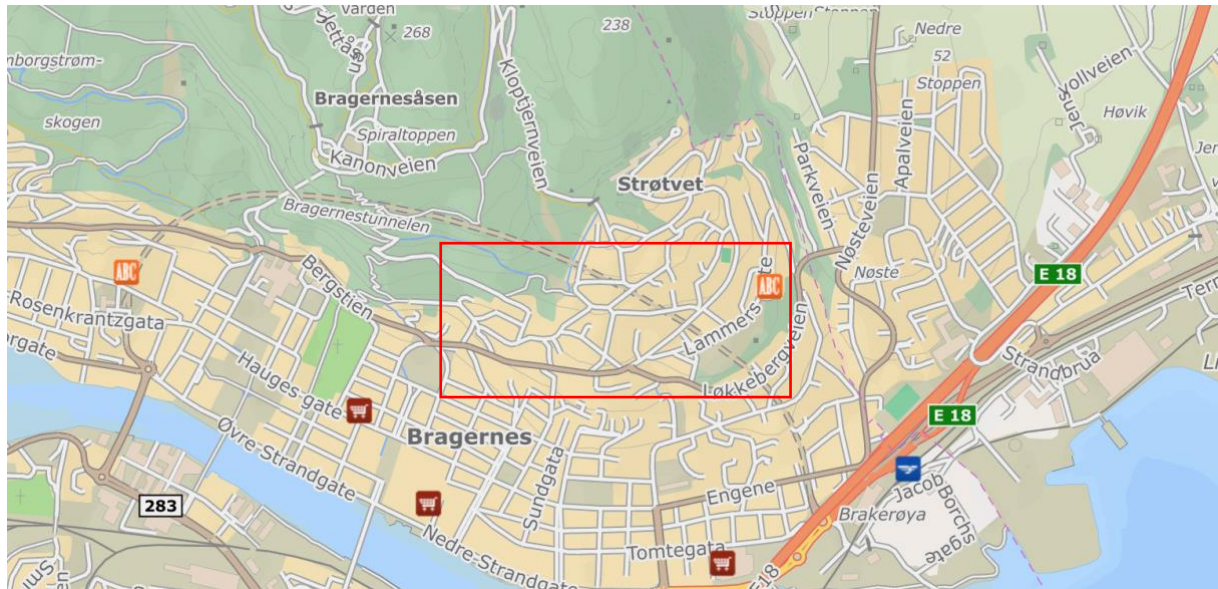
Konnerud ligger vest for Drammen sentrum. Det er 5604 personer som er koblet til denne sonen. Forbruket per person er opplyst til å være 122 l/d/pers. I sonen er det hovedsakelig eneboliger.



FIGUR 11: KART OVER KONNERUD (FINN.NO, 2022).

3.1.5 Lammersgate

Lammersgate ligger i nærheten av Drammen sentrum med 1076 personer koblet til sonen. Forbruket per person er opplyst til å være 114l/d/pers. Største delen av sonen inneholder eneboliger.



FIGUR 12: KART OVER LAMMERSGATE (FINN.NO, 2022).

3.2 Data

For å få tak i relevante målinger til beregningene som skal gjøres, ble flere kommuner kontaktet. Det var ønskelig med vannmålerdata på husholdningsnivå, men dette er lite utbredt foreløpig. Den eneste kommunen som hadde mulighet til å gi ut vannmålerdata var Drammen kommune.

Dataen som er brukt kommer fra 5 ulike soner i Drammen kommune. Fra hver sone er det hentet ut vannmåler data med en oppløsning på en time. Måleperioden varierer noe for de ulike sonene. For Aronsløkka, Bera og Amtmannsvingen er den fra 01.01.2021 til 31.01.2022. Konnerud har en måleperiode fra 06.06.2021 til 31.01.2022, mens Lammersgate har en måleperiode fra 19.04.2021 til 31.01.2022. Målingene blir sendt direkte til kommunens system, slik at de kan overvåke vannforbruket i de ulike sonene. Ved store endringer i forbruket, som ved en lekkasje, kan kommunen oppdage dette fra vannmålerdataen.

Sonene er av ulik størrelse noe som gjør at antall forsyningsveier inn og ut fra sonene også vil variere. I de mindre sonene som Aronsløkka og Bera er det bare en forsyningsvei til sonen. I en av de større sonene som Amtmannsvingen er det tre forsyningsveier inn og en ut. Datasettet som analyseres tar utgangspunkt i det faktiske forbruket i sonene, altså vannet som går inn i sonen minus det som går ut. Siden vannmålerne leser av verdier hver time i døgnet er det mulig å se variasjonen både over året, men også gjennom uken og døgnet.

Målingene som brukes er fra hele soner og ikke på bolig nivå. Dette gjør at målingene ikke blir like presise. Det er fordi målingene fra vannmålerne ikke bare måler det faktiske forbruket i husholdningen, men også lekkasjer som er i sonen. Dette vil ha påvirkninger på resultatet.

TABELL 3: INFORMASJONSTABELL FOR SONENE.

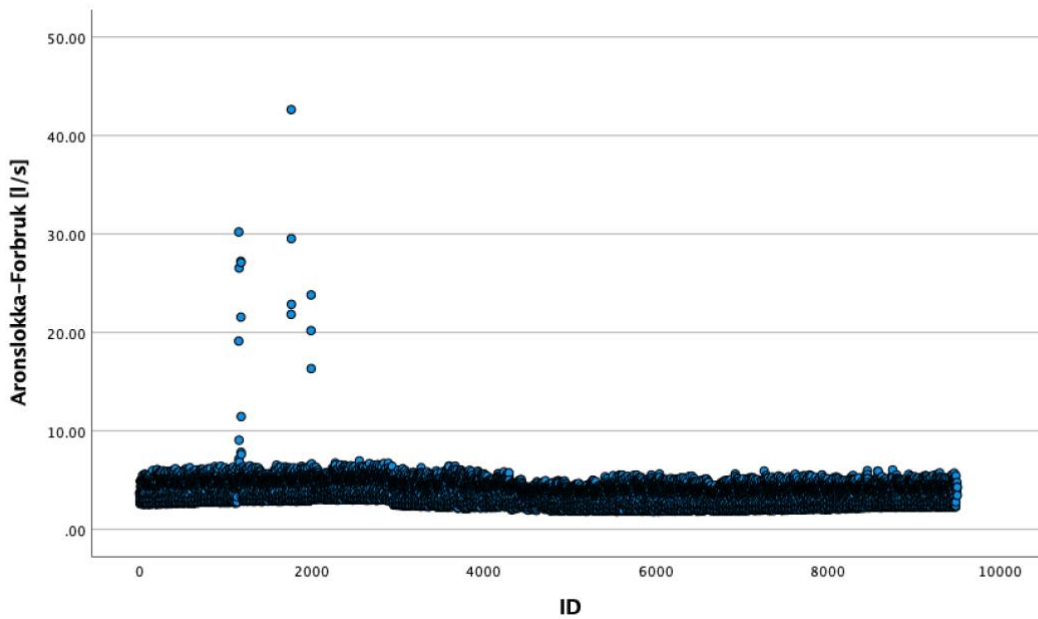
Soner	Antall PE	Dato målinger	Dager	Forbruk [l/d/pers]
Aronsløkka	1243	01.01.2021-31.01.2022	396	130
Bera	479	01.01.2021-31.01.2022	396	111
Amtmannsvingen	2043	01.01.2021-31.01.2022	396	117
Konnerud	5604	06.06.2021-31.01.2022	240	122
Lammersgate	1076	19.04.2021-31.01.2022	288	114

3.3 Data utvalg

For å sikre at de målingene som blir bruk i beregningene representerer virkeligheten på en så nøyaktig måte som mulig, er det viktig å utelukke målingene som åpenbart ikke stemmer.

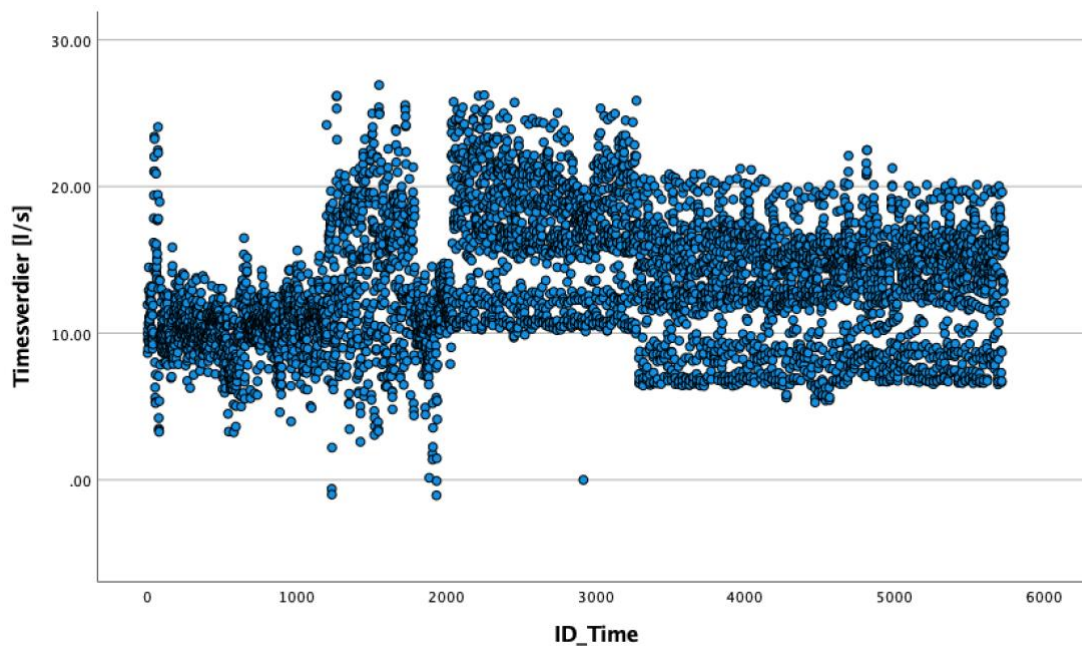
Det ble gjort et data utvalg som fjerner de målingene som ligger utenfor normalområdet, samt fjerner de målingene som ble gjort mens det var feil på noen av vannmålerne. Dette ble gjort for å sikre at målingene som blir brukt er realistiske og representerer det faktiske forbruket i sonen. Noen av grunnene til at slike feilmålinger skjer kan være strømbrydd, frost eller en defekt måler.

For å gjøre et riktig utvalg ble alle målingene i datasettet plottet for hele måleperioden. Et eksempel på et sånt plott er vist under.



FIGUR 13: PLOTT OVER TINESFORBRUKET TIL ARONSLØKKA OVER HELE MÅLEPERIODEN.

Her ser man tydelig at det er noen målinger som skiller seg fra normalen. De aller fleste målingene ligger mellom 0 og 10 l/s, mens noen målinger ligger langt utenfor dette intervallet. Siden målingene ikke har en naturlig forklaring, blir de fjernet fra datasettet. Dette ble gjort for alle sonene.



FIGUR 14: PLOTT OVER TINESFORBRUKET FOR KONNERUD OVER HELE MÅLEPERIODEN

For sonene Bera og Konnerud er det noen variasjoner i løpet av måleperioden som ikke er klare uteliggere, men som kan påvirke resultatet noe. Det ble tatt kontakt med kommunen for å høre om det var noen grunn til variasjonene. For Konnerud var det feil på en måler som gjorde at målingene var veldig ustabile frem til ID 3300. Etter ID 3300 ble måleren fikset slik at målingene igjen ble stabile. Dermed blir målingene frem til dette sett bort ifra. For Bera var det ingen åpenbare feil med måleren eller store lekkasjer som kunne forklare variasjonene, det ble derfor ikke gjort noen endringer på disse målingene. I de andre sonene var det også noen mindre variasjoner som kommunen ikke hadde noe klart svar på hva som kan ha forårsaket disse, de ble derfor tatt med videre i datasettet.

TABELL 4: MÅLEINTERVALL FOR DE ULIKE SONENE.

Soner	Intervall målinger	Endelig måleperiode
Aronsløkka	0-7,5 l/s	01.01.2021-31.12.2021
Bera	0-2 l/s	01.01.2021-31.12.2021
Amtmannsvingen	Over 10 l/s	01.01.2021-31.12.2021
Konnerud	Fra ID 3300	22.10.2021-31.01.2022
Lammersgate	0-7 l/s	19.04.2021-31.01.2022

Det er litt varierende lengde på måleperioden for sonene. Som vist i Tabell 3 er måleperioden for Aronsløkka, Bera og Amtmannsvingen på 396 dager. Det er ønskelig å gjøre utregningene over ett år. Derfor blir måleperioden for disse sonene kortet ned til å bare inkludere ett år, fra 01.01.2021-31.12.2021. For Konnerud og Lammersgate var det ikke mulig å hente ut målinger for et helt år, så det vil bli gjort beregninger på den måleperioden og det intervallet som er vist i Tabell 4.

Ut ifra de intervallene og måleperiodene som ble valgt for de ulike sonene, som vist ovenfor, ble datasettet oppdatert. Ved bruk av filter funksjonen i Excel ble målingene som ligger utenfor kriteriene fjernet. Målingene som er igjen i datasettet ble grunnlaget for videre analyser og utregninger.

3.4 Data håndtering

Etter at datasettet har blitt renset for målinger som ikke er innenfor det valgte intervallet, blir de videre håndtert i dataprogrammet Microsoft Excel. Ved bruk av Excel vil det bli gjort utregninger, analyser og fremstillinger av resultater.

Datasettet som blir håndtert av Excel består av timesverdier for vannforbruket i de ulike sonene. Vannforbruket er målt i liter per sekund. Før beregningene og analysene kan gjøres må datasettet endres slik at det er på riktig form. Målingene for hver sone flyttes til forskjellige regneark i Excel. Videre blir alle målingene nummerert og knyttet til hvilken ukedag de er gjort på.

ID	Dato	Klokke	Ukedag	Timeverdi
1	01.01.2021	00:00	5	3,71
2	01.01.2021	01:00	5	3,68
3	01.01.2021	02:00	5	3,47
4	01.01.2021	03:00	5	2,94
5	01.01.2021	04:00	5	2,81
6	01.01.2021	05:00	5	2,67
7	01.01.2021	06:00	5	2,61
8	01.01.2021	07:00	5	2,65
9	01.01.2021	08:00	5	3,05
10	01.01.2021	09:00	5	3,71
11	01.01.2021	10:00	5	4,34
12	01.01.2021	11:00	5	4,91
13	01.01.2021	12:00	5	4,86
14	01.01.2021	13:00	5	4,92
15	01.01.2021	14:00	5	4,85
16	01.01.2021	15:00	5	4,94
17	01.01.2021	16:00	5	4,97
18	01.01.2021	17:00	5	4,91
19	01.01.2021	18:00	5	4,70
20	01.01.2021	19:00	5	4,44
21	01.01.2021	20:00	5	4,37
22	01.01.2021	21:00	5	4,03
23	01.01.2021	22:00	5	3,88
24	01.01.2021	23:00	5	3,77
25	02.01.2021	00:00	6	3,45
26	02.01.2021	01:00	6	3,02
27	02.01.2021	02:00	6	2,74

ID-dag	Dato	Ukedag	Dagsverdi	Maks time
1	01.01.2021	5	3,97	4,97
2	02.01.2021	6	4,05	5,49
3	03.01.2021	7	4,31	5,62
4	04.01.2021	1	4,28	5,35
5	05.01.2021	2	4,19	5,53
6	06.01.2021	3	4,23	5,63
7	07.01.2021	4	4,21	5,98
8	08.01.2021	5	4,25	5,45
9	09.01.2021	6	4,35	6,08
10	10.01.2021	7	4,43	5,89
11	11.01.2021	1	4,26	5,79
12	12.01.2021	2	4,33	5,96
13	13.01.2021	3	4,31	5,83
14	14.01.2021	4	4,31	5,91
15	15.01.2021	5	4,26	5,82
16	16.01.2021	6	4,30	5,94
17	17.01.2021	7	4,42	5,90
18	18.01.2021	1	4,38	6,16
19	19.01.2021	2	4,28	5,79
20	20.01.2021	3	4,29	5,88
21	21.01.2021	4	4,26	5,62
22	22.01.2021	5	4,26	5,97
23	23.01.2021	6	4,30	6,16
24	24.01.2021	7	4,43	5,92
25	25.01.2021	1	4,31	6,27
26	26.01.2021	2	4,32	5,83
27	27.01.2021	3	4,33	5,86

FIGUR 15: OPPSETT FOR MÅLINGENE I EXCEL.

Deretter blir dagsforbruket for hver dag i måleperioden beregnet ut ifra timesverdiene. Dette gjøres ved å summere alles timesforbrukene for den gitte dagen sammen og dele på antall timer. Til slutt blir dagsforbruket knyttet til riktig ukedag og dato, samt at det maksimale timesforbruket for hver dag beregnes.

Etter at datasettet er klargjort kan utregningene og analysene gjøres.

3.5 Utregning

For å beregne døgnfaktoren og timesfaktoren er det flere trinn som må gjennomføres. Med intervallene fra Tabell 4 som grunnlag, blir trinnene for beregningene forklart under.

3.5.1 Døgnfaktor

- 1) For hver dag i måleperioden ble dagsforbruket beregnet. Lengden på perioden vil variere for hvilken sone som analyseres i henhold til Tabell 4.
- 2) Det gjennomsnittlige dagsforbruket over måleperioden ble så beregnet. Ved å summere alle dagsforbruk og dele på antall dager i måleperioden.
- 3) Døgnfaktoren ble beregnet for hver dag i måleperioden ved å dele dagsforbruket på det gjennomsnittlige dagsforbruket over måleperioden.
- 4) Maks døgnfaktor (f_{maks}) ble funnet ved å finne den høyeste verdien fra punkt 3.

3.5.2 Timesfaktor

- 1) Det gjennomsnittlige timesforbruket per dag i måleperiode ble beregnet ved å summere alle timesforbrukene over en dag og dele på antall timer.
- 2) For hver dag i måleperioden ble det maksimale timesforbruket funnet og lagt til i en egen kolonne.
- 3) Den maksimale timesfaktoren (k_{maks}) ble beregnet for alle dagene i måleperioden ved bruk av formel (5).
- 4) K_{maks} ble deretter beregnet ved å finne den maksimale verdien fra punkt 3. Denne verdien blir definert som k_{maks} .
- 5) Til slutt blir $k_{snittmaks}$ beregnet ved bruk av formel (6). Ved å ta gjennomsnittet av alle verdiene som er beregnet i punkt 3 får man verdien til $k_{snittmaks}$.

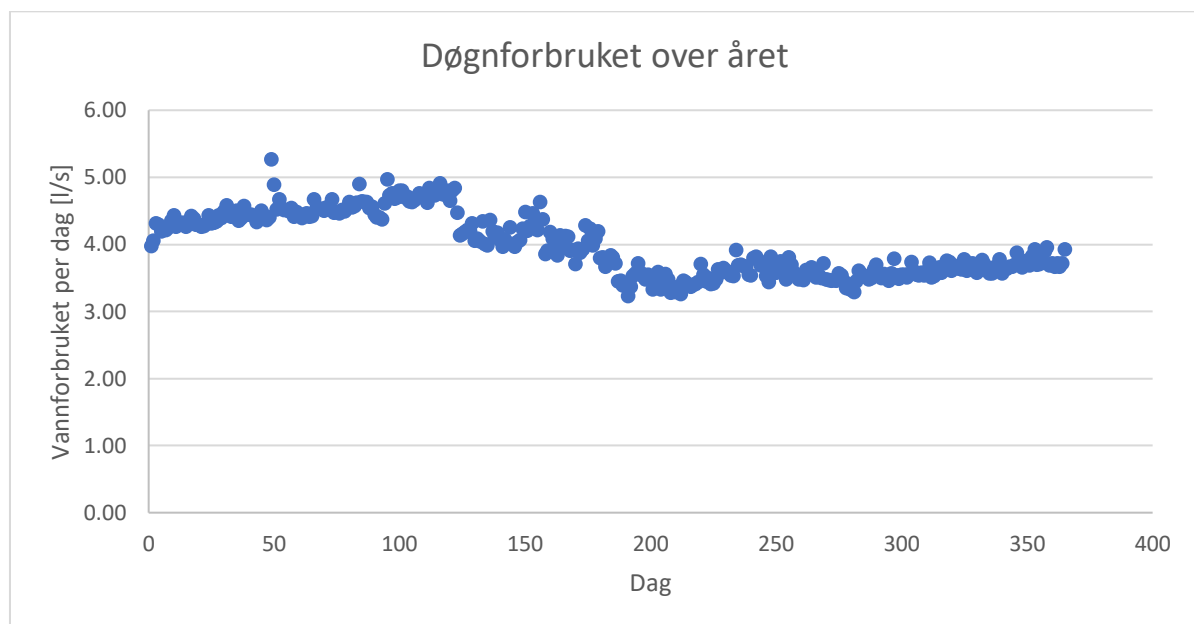
4 Resultat og diskusjon

I dette kapitlet blir resultatene for hver sone presentert og diskutert, før det kommer et sammendrag over de viktigste funnene til slutt.

4.1 Resultater fra sonene

Under er resultatene for alle sonene presentert hver for seg.

4.1.1 Aronsløkka



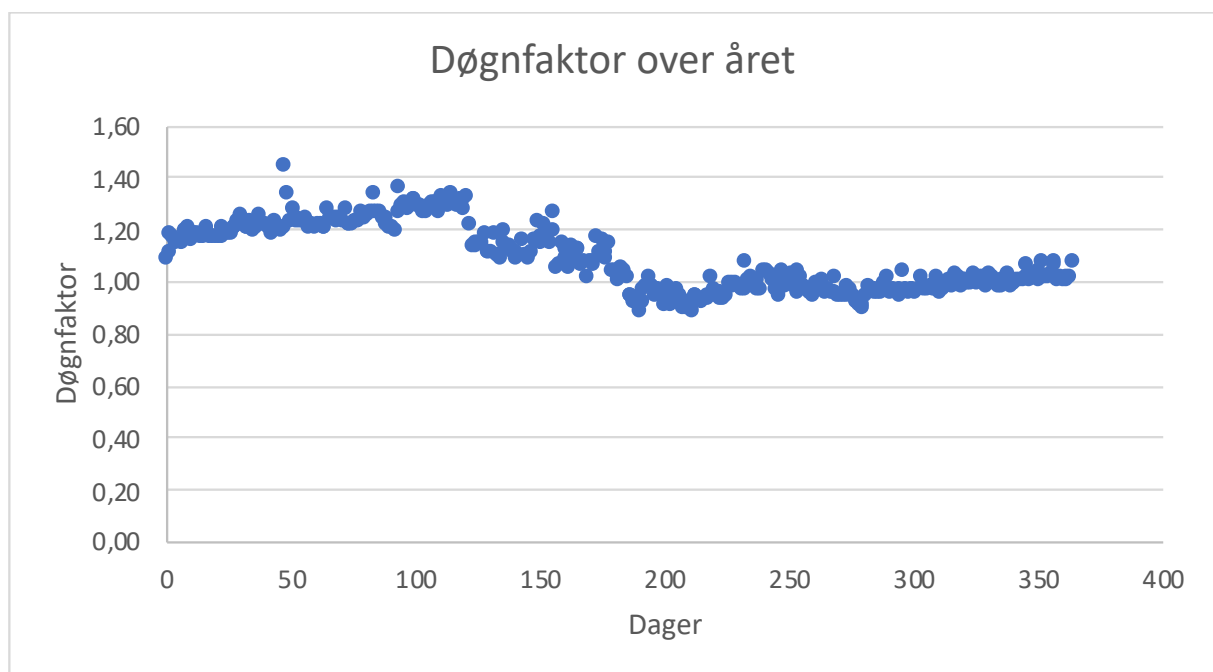
FIGUR 16: DØGNFORBRUKET FOR ARONSLØKKA GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er døgnforbruket for hver dag i løpet av et år plottet. Dag 0 representerer 01.01.2021 og dag 365 representerer 31.12.2021. Det viser at døgnforbruket ligger mellom 3,0 l/s og 5,5 l/s. Vannforbruket øker utover våren fram til dag 120-130 som tilsvarer slutten av april og begynnelsen av mai, før det synker gjennom sommeren fram til dag 210 som er slutten av juli.

Fra bunnpunktet i slutten av juli øker vannforbruket noe utover høsten og vinteren. Det gjennomsnittlige døgnforbruket var på 3,98 l/s.

Økningen i vannforbruket gjennom våren er som forventet, fordi været blir varmere og flere bruker mer vann utendørs til vanning og vasking av hus og bil. Det er forventet at økningen av vannforbruket også skal fortsette utover sommeren før det synker utover høsten. Siden Aronsløkka er et boligfelt og ikke et hyttefelt eller et feriested skyldes nok nedgangen i vannforbruket om sommeren at mange reiser bort på ferie. Dette gjør at færre bruker vann i denne sonen om sommeren og dermed synker vannforbruket. Fra starten av august når mange kommer hjem fra ferie øker forbruket igjen.

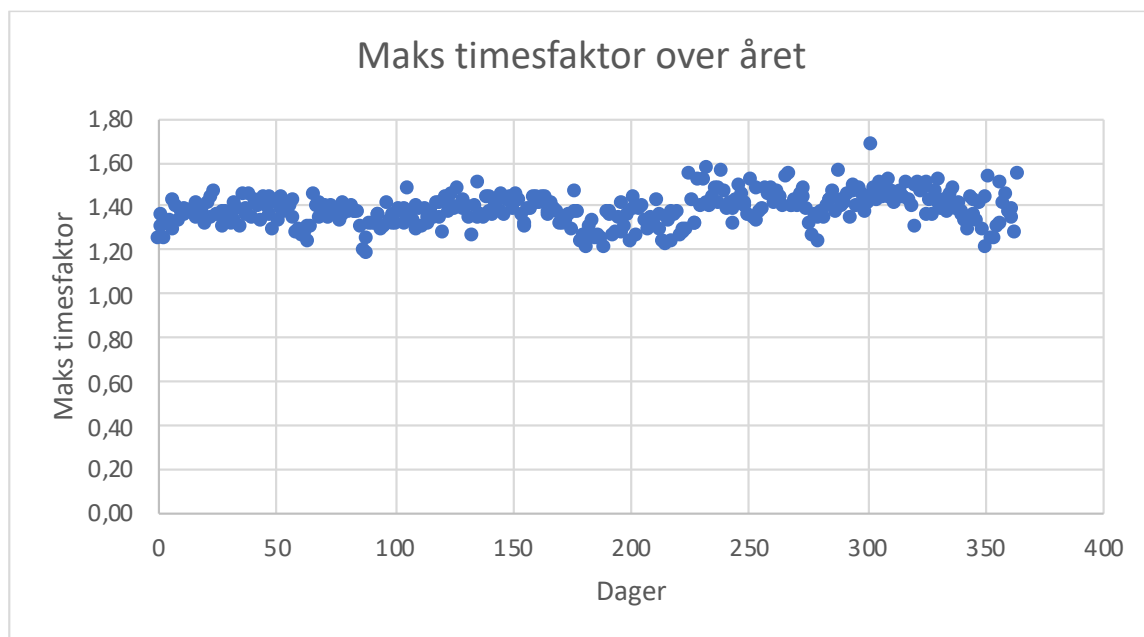
Målingene som er gjort er på hele sonen. Det gjør at eventuelle lekkasjer som oppstår i sonen vil bli målt som et vannforbruk og tatt med i beregningene. Vannforbruket som er plottet kan være påvirket av dette, slik at det ikke representerer det faktiske forbruket i sonen.



FIGUR 17: PLOTT OVER DØGNFAKTØRENE TIL ARONSLØKKA.

Plottet over viser døgnfaktoren som er beregnet for hver dag i løpet av året. Døgnfaktoren varierer mellom 0,88 og 1,44. Den maksimale døgnfaktoren (f_{maks}) var på 1,44 og inntraff 18. februar. Variasjonen over året sammenfaller med variasjonen i vannforbruket, med en økning utover våren før den synker gjennom sommeren, så en økning fram mot vinteren.

Døgnfaktoren beskriver vannforbruket en gitt dag i forhold til vannforbruket en gjennomsnittsdag. Det betyr at det brukes mer vann de dagene døgnfaktoren er over 1 og mindre vann de dagene døgnfaktoren er under 1, i forhold til en gjennomsnittsdag i måleperioden. Ut ifra plottet er vannforbruket høyere enn gjennomsnittet fra januar og frem til begynnelsen av mai. Dette var en periode hvor store deler av samfunnet var nedstengt og de aller fleste oppholdt seg hjemme. Denne nedstengningen sammen med et forventet høyere vannforbruk om våren gjør at døgnfaktoren er på sitt høyeste i denne perioden.



FIGUR 18: PLOTT OVER K_{MAKS} FOR ARONSLØKKA GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er maks timesfaktor for hver dag i måleperioden plottet. Den varierer mellom 1,19 og 1,67. Den maksimale timesfaktoren (k_{maks}) var på 1,67 og inntraff 30. oktober. Den gjennomsnittlige maksimale timesfaktoren ($k_{snittmaks}$), altså gjennomsnittet av alle maks timesfaktorer som er beregnet for hver dag i måleperioden, var på 1,38. Variasjonen er ganske jevn, men med en liten økning fra slutten av juli og fram til måleperioden ender. Det betyr at

den timen i døgnet hvor det forbrukes mest vann er forbruket 20-70 % høyere enn gjennomsnitts forbruket det døgnet.

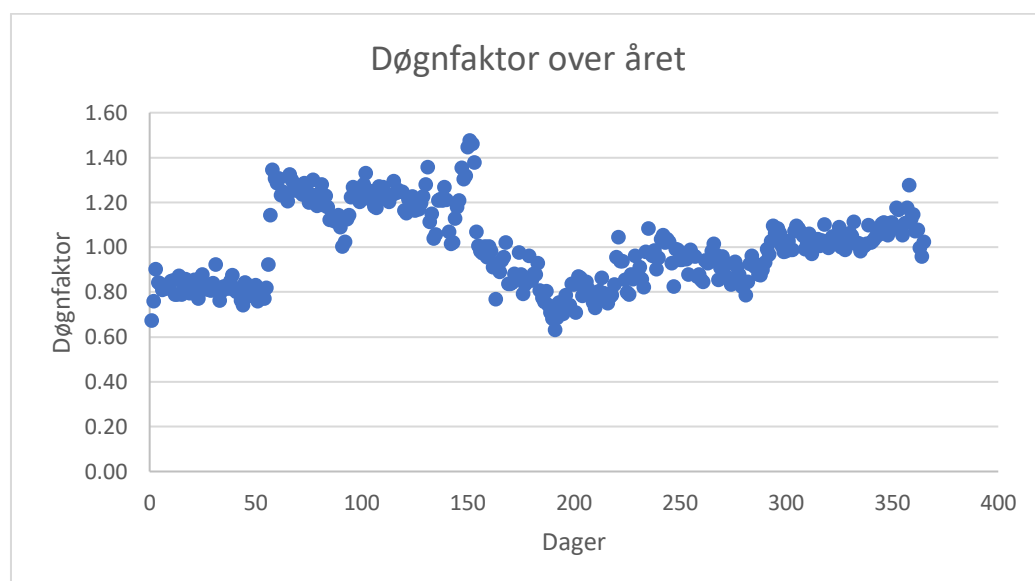
Korrelasjonen mellom døgnfaktoren og timesfaktoren er beregnet til å være -0,16. Noe som betyr at sammenhengen mellom faktorene nesten ikke er til stede. Dette ser man også i plottene, timesfaktoren påvirkes ikke av nedgangen i døgnfaktoren på sommeren.

TABELL 5: OPPSUMMERING AV RESULTATENE FOR ARONSLØKKA.

PE	1243
Dager	365,00
Gjennomsnitt døgn	3,98
Maks døgnfaktor	1,44
Maks timesfaktor	1,38
Maks timesfaktor_abs	1,67
Korrelasjon	-0,16

4.1.2 Bera

Vannforbruket i sonen Bera varierer mellom 0,46 l/s og 1,06 l/s med ett gjennomsnitts forbruk på 0,72 l/s gjennom måleperioden.

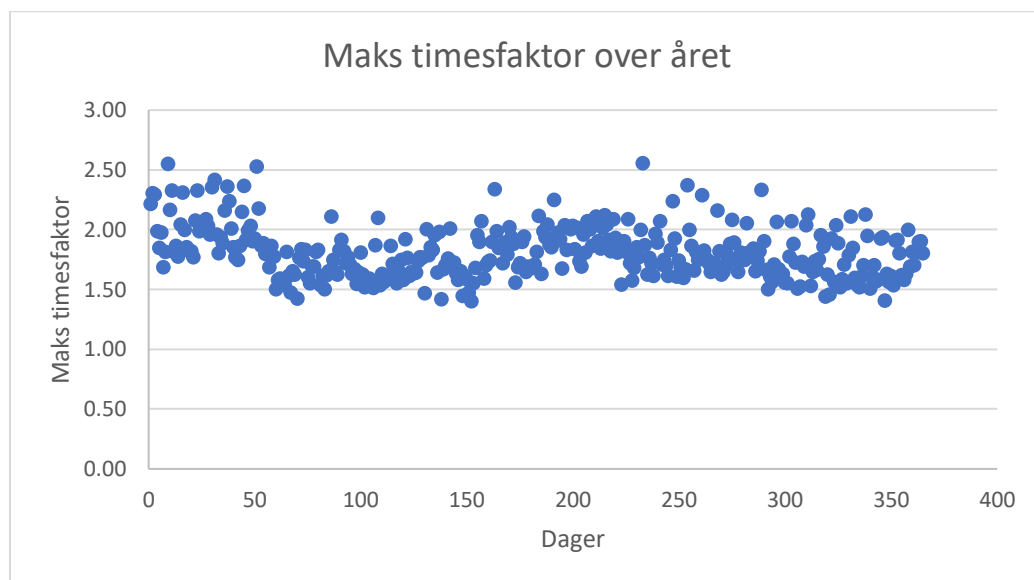


FIGUR 19: PLOTT OVER DØGNFAKTORENE FOR BERA GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er døgnfaktoren for hver dag i måleperioden plottet. Døgnfaktoren varierer mellom 0,63 og 1,47, hvor maks døgnfaktor (f_{maks}) på 1,47 opptrer 31. mai. Døgnfaktoren er ganske stabil de første 50 dagene før en brå økning mellom dag 50 og 60. Fra dag 60 og utover våren er den stabilt høy fra til maks inntreffer på dag 151. Fra dag 151 og gjennom sommeren faller døgnfaktoren ned til bunnpunktet på dag 191 som er 10. juli. Etter bunnpunktet stiger døgnfaktoren jevnt fram til måleperioden slutter.

Døgnfaktoren er høyest om våren som betyr at det brukes mest vann i den perioden i forhold til gjennomsnittet. Noe som er forventet siden våren er en periode hvor det brukes mye vann utendørs. Bera er også en sone som består hovedsakelig av leiligheter som gjør at en nedgang om sommeren skyldes at flere er på ferie andre steder. Fra midten/slutten av juli øker døgnfaktoren igjen da flere kommer tilbake fra ferie.

Bera er en veldig liten sone med bare 479 personer tilknyttet seg. Dette gjør at sonen er veldig følsom for endringer i forbruket. Som for eksempel om det oppstår en lekkasje kan dette skape et kunstig høyt forbruk som slår ut på målingene. Dette kan være noe av grunnen til den brå økningen mellom dag 50 og 60.



FIGUR 20: PLOTT OVER K_{MAKS} FOR BERA GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er den maksimale timesfaktoren for hver dag i måleperioden plottet. Den varierer mellom 1,4 og 2,55, med et gjennomsnitt på 1,80. Den maksimale timesfaktoren på 2,55

inntraff på dag 233 som var den 21. august. Variasjonen er jevn over måleperioden, uten om en liten økning de første 50 dagene.

Det er en stor forskjell mellom den minste og største maksimale timesfaktoren gjennom måleperioden. Noe som tyder på at sonen er følsom for variasjoner i vannforbruket. Dette ser man også for døgnfaktoren. Som nevnt er Bera en liten sone som gjør at det skal mindre til for at vannforbruket overstiger gjennomsnittet som igjen vil påvirke døgn- og timesfaktorene.

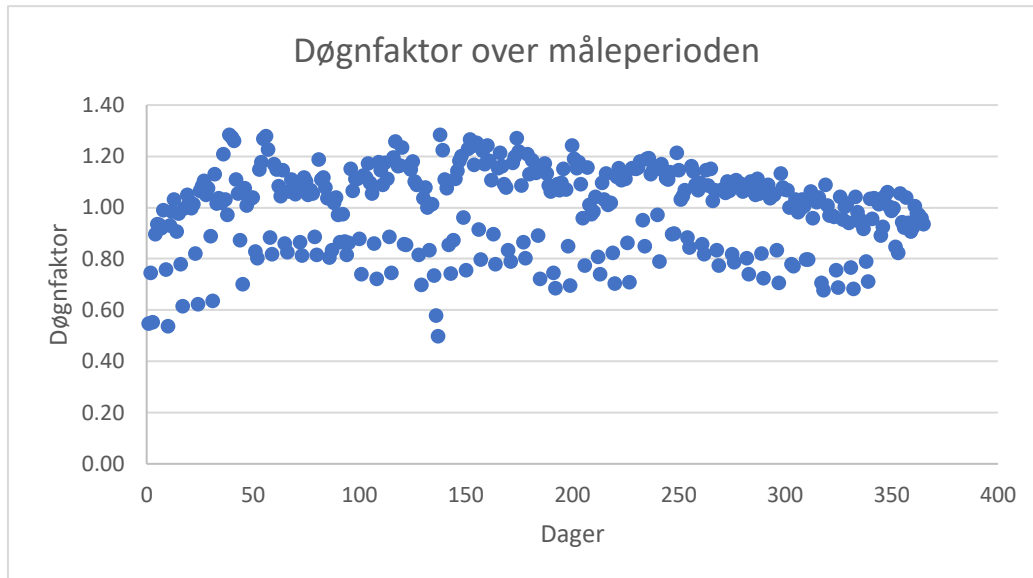
Korrelasjonen mellom døgnfaktoren og timesfaktoren er på -0,54. Det betyr at det er en svak negativ korrelasjon. Som antyder at når døgnfaktoren øker synker timesfaktoren. Det er vanskelig å konkludere med dette med en så svak korrelasjon, men ut ifra plottene kan man se at når døgnfaktoren er høyest er ikke timesfaktoren det.

TABELL 6: OPPSUMMERING AV RESULTATENE FOR BERA

PE	479,00
Dager	365,00
Gjennomsnitt døgn	0,72
Maks døgnfaktor	1,47
Maks timesfaktor	1,80
Maks timesfaktor_abs	2,55
Korrelasjon	-0,54

4.1.3 Amtmannsvingen

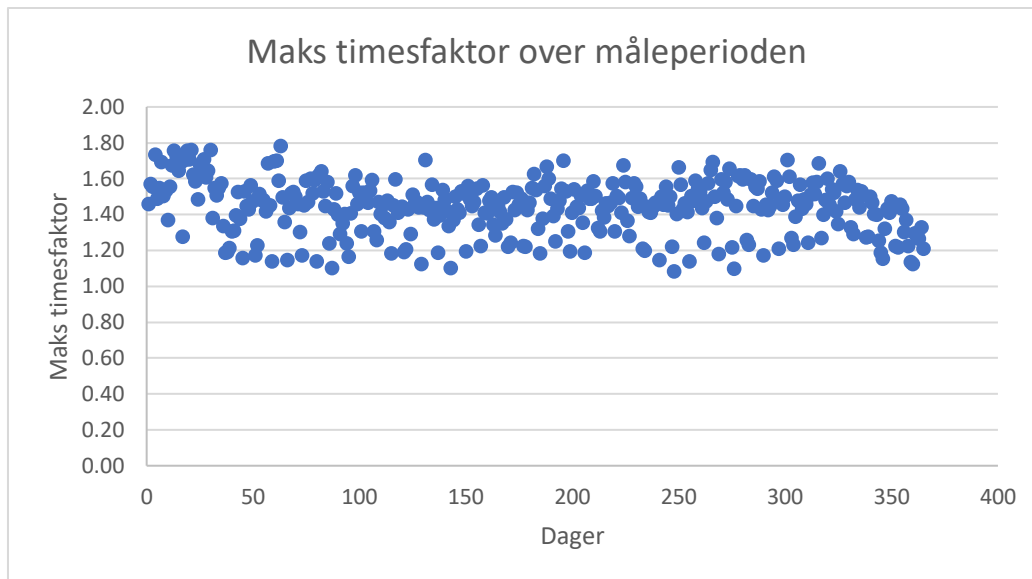
Døgnforbruket i sonen Amtmannsvingen varierer mellom 14,36 l/s og 36,25 l/s med et gjennomsnitts forbruk på 28,82 l/s.



FIGUR 21: PLOTT OVER DØGNFAKTORENE FOR AMTMANNSVINGEN GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er døgnfaktoren for hver dag i måleperioden plottet. Den varierer mellom 0,5 og 1,28. Den maksimale døgnfaktoren på 1,28 opptrer på dag 39, 56 og 138. Variasjonen over måleperioden er ganske jevn, uten om en liten økning de første 40 dagene og en liten avtagelse de siste 100 dagene.

Amtmannsvingen er en sone som er påvirket av industri- og næringsvirksomhet samt endel eneboliger. Vi ser ikke den samme variasjonen i døgnfaktoren som vi har sett for Aronsløkka og Bera, som hovedsakelig består av eneboliger og leiligheter, hvor det er økning utover våren før den synker gjennom sommeren før den igjen stiger noe fram mot slutten av måleperioden. Mye av grunnen til dette er nok at påvirkningen av industri- og næringsvirksomhet på vannforbruket. Disse virksomhetene har et jevnere forbruk over året, som utjevner svingningene som ellers ville oppstått.



FIGUR 22: PLOTT OVER K_{MAKS} FOR AMTMANNSVINGEN GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er den maksimale timesfaktoren som er beregnet for hver dag i måleperioden plottet. Den varierer mellom 1,08 og 1,78 med et gjennomsnitt på 1,44. Den maksimale timesfaktoren på 1,78 opptrer på dag 63 som er den 4. mars. Variasjonen er ganske jevn. Det er en liten økning helt i starten av måleperioden og en liten avtagelse på slutten av måleperioden.

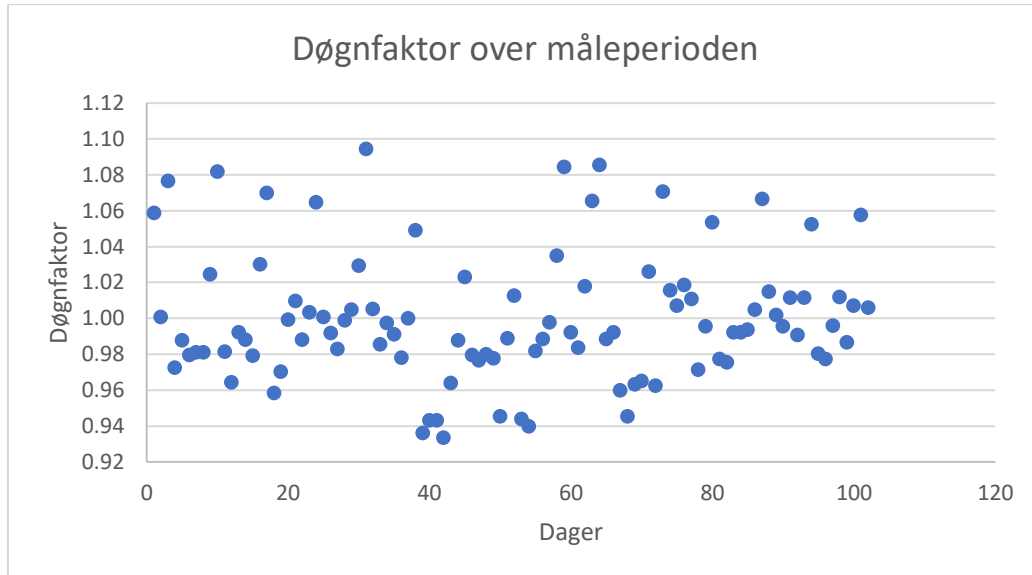
Korrelasjonen mellom døgn- og timesfaktoren er på 0,49. Som er svak positiv korrelasjon. Det kan antyde at når døgnfaktoren øker, øker også timesfaktoren. Fra plottene kan vi se at den maksimale døgnfaktor og den maksimale timesfaktor opptrer rundt samme periode, på begynnelsen av våren. Utenom dette er begge faktorene stabile gjennom måleperioden uten store svingninger. Som igjen kan antyde at industri- og næringsvirksomhetene gjør at vannforbruket holder seg jevnere.

TABELL 7: OPPSUMMERING AV RESULTATENE FOR AMTMANNSVINGEN.

PE	2043,00
Dager	365,00
Gjennomsnitt døgn	28,82
Maks døgnfaktor	1,28
Maks timesfaktor	1,44
Maks timesfaktor_abs	1,78
Korrelasjon	0,49

4.1.4 Konnerud

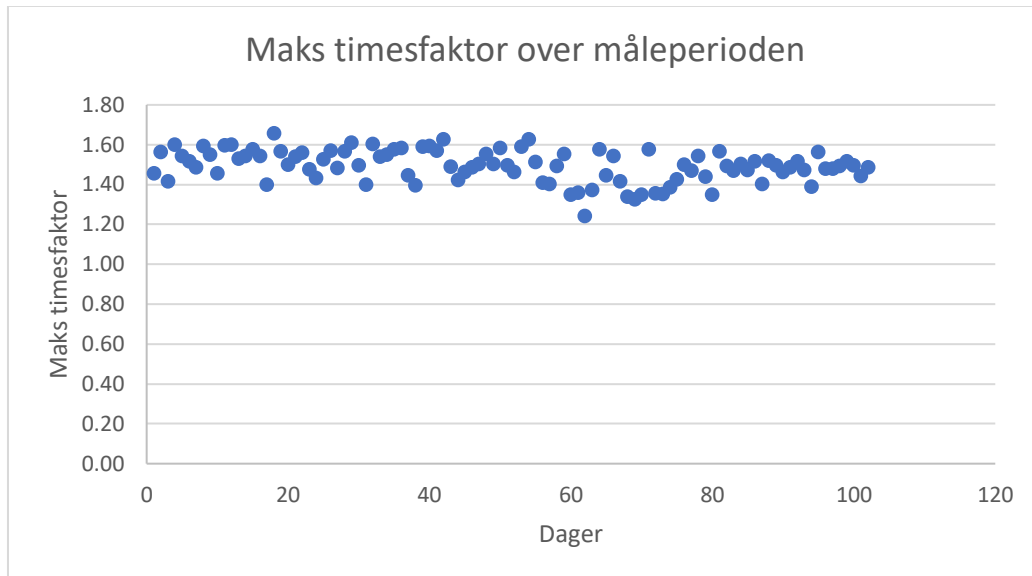
Døgnforbruket i sonen Konnerud varierer mellom 12,27 l/s og 14,39 l/s, med et gjennomsnitt på 13,15 l/s.



FIGUR 23: PLOTT OVER DØGNFAKTORENE FOR KONNERUD GJENNOM MÅLEPERIODEN

Over er den beregnede døgnfaktoren for hver dag i måleperioden plottet. For denne sonen starter måleperioden den 22.10.2021 som tilsvarer dag 0, og avsluttes den 31.01.2022 som tilsvarer dag 102. Døgnfaktoren varierer mellom 0,93 og 1,09. Den maksimale døgnfaktoren på 1,09 opptrer på dag 31. Variasjonen i døgnfaktoren er nok så stabil over måleperioden uten store endringer.

Måleperioden for denne sonen er bare på 102 dager, og strekker seg fra slutten av oktober til slutten av januar. Dette gjør at sesongvariasjonene ikke kommer frem i plottet. Med bakgrunn i at måleperioden hovedsakelig var om vinteren, er det forventet at variasjonen i døgnfaktoren er ganske stabil.



FIGUR 24: PLOTT OVER K_{MAKS} FOR KONNERUD GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er den maksimale timesfaktoren for hver dag i måleperioden plottet. Den varierer mellom 1,24 og 1,65, med et gjennomsnitt på 1,49. Den maksimale timesfaktoren på 1,65 opptrer på dag 18 den 08.11.2021. Variasjonen holder seg stabil over hele måleperioden.

Avstanden mellom minste og største verdi for døgn- og timesfaktorene er ganske liten, i forhold til det vi ser i de andre sonene. Siden Konnerud er en større sone enn de andre er den mindre følsom for endringer i forbruket som gjør at det forventes en ganske stabil variasjon for døgn- og timesfaktorene. Samtidig er måleperioden bare på 102 dager, hvor det optimale er 365, som gjør at vi ikke får det fulle bilde.

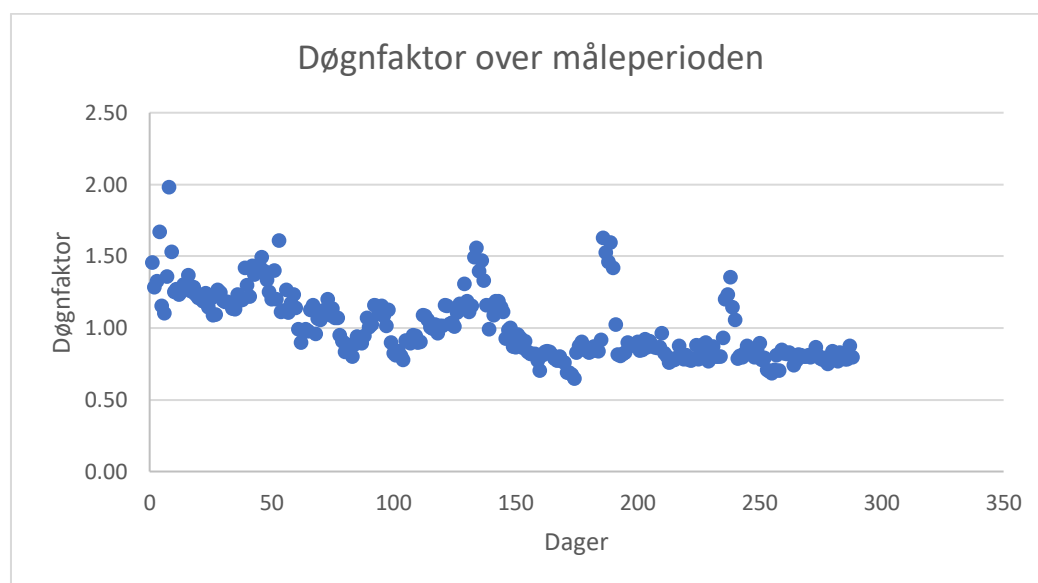
Korrelasjonen mellom døgnfaktoren og timesfaktoren var på -0,37. Det tyder på at det er en svak negativ korrelasjon. Ut ifra plottene er det vanskelig å se en sammenheng mellom faktorene, men den maksimale døgnfaktoren og den maksimale timesfaktoren opptrer ikke på samme dag.

TABELL 8: OPPSUMMERING AV RESULTATENE FOR KONNERUD.

PE	5604,00
Dager	102,00
Gjennomsnitt døgn	13,15
Maks døgnfaktor	1,09
Maks timesfaktor	1,49
Maks timesfaktor_abs	1,65
Korrelasjon	-0,37

4.1.5 Lammersgate

Døgnforbruket i sonen Lammersgate varierer mellom 1,39 l/s og 4,26 l/s med et gjennomsnitt på 2,15 l/s.

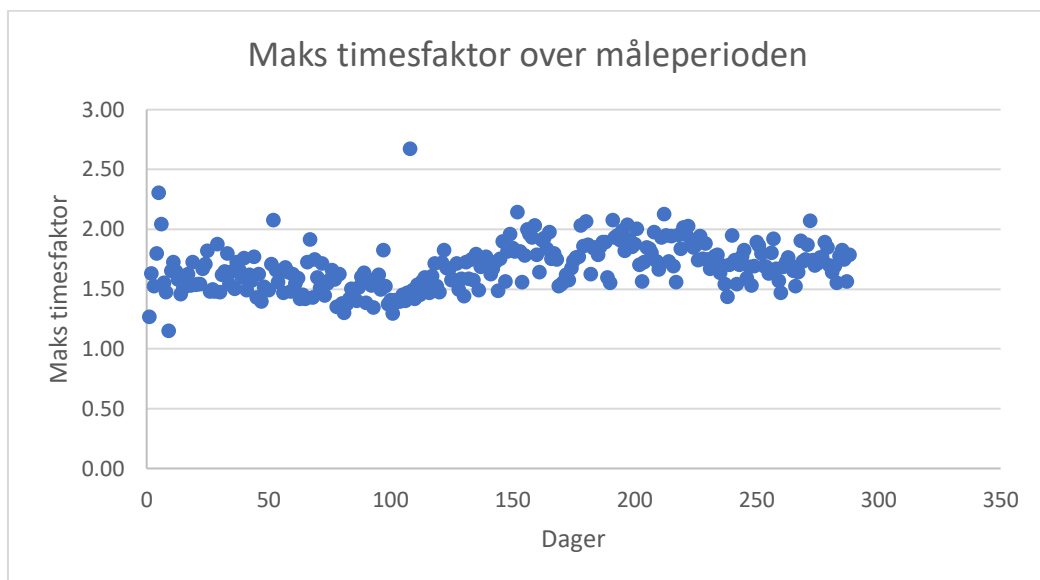


FIGUR 25: PLOTT OVER DØGNFAKTORENE FOR LAMMERSGATE GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er den beregnede døgnfaktoren for hver dag i måleperioden plottet. Måleperioden for Lammersgate er fra 19.04.2021 som tilsvarer dag 0, til 31.01.2022 og tilsvarer dag 288. Døgnfaktoren varierer mellom 0,64 og 1,98. Den maksimale døgnfaktoren er på 1,98 og opptrer på dag 8 som er den 26.04.2021. Det er store variasjoner i døgnfaktoren over måleperioden. De første 50 dagene er den ganske stabil før det kommer en nedgang fram til

dag 105. Fra dag 105 og til dag 135 er det en kraftig økning. Etter dag 135 synker den igjen til verdier rundt 0,90 hvor den holder seg jevn, uten om noen lokale økninger, ut måleperioden.

Sesongvariasjonen som ses i plottet, er som forventet. Med en nedgang fra begynnelsen av juni til slutten av juli, som er en periode hvor mange har ferie og drar bort fra sine faste bosteder. Det gjør at vannforbruket i sonen synker. I august øker døgnfaktoren kraftig, som kan forklares ved at flere kommer tilbake fra ferie. De lokale økningene som oppstår i ellers stabile perioder, har ikke kommunen kommet med noen konkret forklaring. Siden Lammersgate er en liten sone, kan små endringer i vannforbruket gi store utslag. Økningene vi ser kan derfor skyldes naturlige endringer i vannforbruket eller at det har oppstått en akutt lekkasje for eksempel.



FIGUR 26: PLOTT OVER K_{MAKS} FOR LAMMERSGATE GJENNOM MÅLEPERIODEN.

Over er den beregnede maksimale timesfaktoren for hver dag i måleperioden plottet. Den varierer mellom 1,15 og 2,67, med et gjennomsnitt på 1,68. Den maksimale timesfaktoren på 1,68 opptrer på dag 108 som er den 04.08.2021. Timesfaktoren synker noe de første 100 dagene, før den øker fra dag 100 til dag 150. Fra dag 150 til måleperioden slutter holder den seg stabil.

Spranget mellom den minste og største timesfaktoren er veldig stor, noe som tyder på at sonen er følsom for variasjoner i forbruket. Siden Lammersgate er en liten sone med bare 1076 personer tilknyttet seg, vil små endringer i vannforbruket gi store utslag i timesfaktoren.

Korrelasjonen mellom døgnfaktoren og timesfaktoren er på -0,28. Dette er en veldig svak negativ korrelasjon, så svak at den ikke har noe praktisk betydning. Men vi ser at den maksimale døgnfaktor og den maksimale timesfaktoren ikke inntreffer på samme dag.

TABELL 9: OPPSUMMERING AV RESULTATENE FOR LAMMERSGATE.

PE	1076,00
Dager	288,00
Gjennomsnitt døgn	2,15
Maks døgnfaktor	1,98
Maks timesfaktor	1,68
Maks timesfaktor_abs	2,67
Korrelasjon	-0,28

4.2 Husholdningsforbruk

Husholdningsforbruket utgjør den største delen av vannforbruket som rørene dimensjoneres etter. Det er derfor viktig å vite hva husholdningsforbruket er i området det skal dimensjoneres for. Under er husholdningsforbruket for hver sone beregnet.

TABELL 10: HUSHOLDNINGSFORBRUKET FOR HVER SONE.

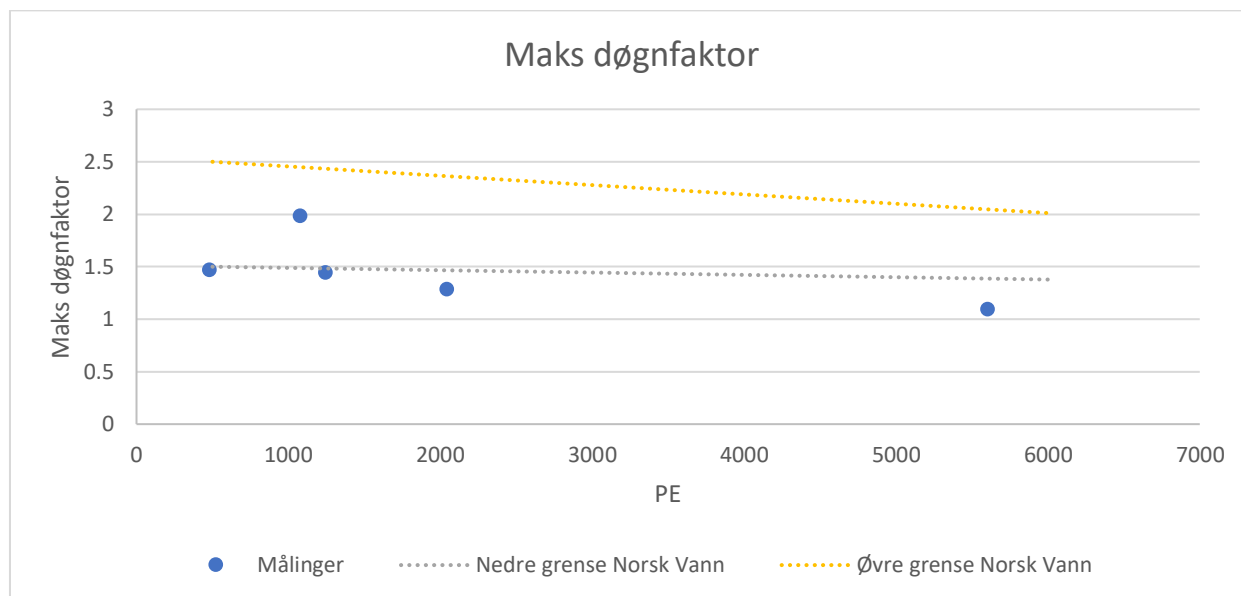
Sone	PE	Forbruk [l/d/PE]
Bera	479	111
Lammersgate	1076	114
Aronsløkka	1243	130
Amtmannsvingen	2043	117
Konnerud	5604	122
Gjennomsnitt		118,8

Husholdningsforbruket varierer mellom 111 l/d/PE og 130 l/d/PE, med et gjennomsnitt på 118,8 l/d/PE. Dette er ganske mye mindre enn det som anbefales av Norsk Vann og som kommer frem fra SSB, som er på henholdsvis 160 l/d/PE og 180 l/d/PE (Lindholm et al., 2012; Statistisk sentralbyrå, 2021b). Studien til Bomo fant at husholdningsforbruket for Drammen var på 137 l/d/PE i 2012 (Bomo & Schade, 2015). Det er ikke sett på hele Drammen kommune i denne studien, men det gir en indikasjon på at husholdningsforbruket er klart lavere enn tallene fra Norsk vann og SSB.

Variasjonen mellom de ulike sonene er ikke veldig stor, men Aronsløkka har et noe høyere forbruk enn de andre sonene. Aronsløkka er en sone som hovedsakelig består av eneboliger. De fleste eneboligene har også et uteområde med hage. Dette gjør at det vil brukes mer vann utendørs, som til vanning og vasking av bil og hus. Det kan være med å gi Aronsløkka et høyere forbruk enn det Bera har, som er en sone med mye blokker.

Dette viser viktigheten av å beregne husholdningsforbruket direkte på området i stedet for å bruke generelle antagelser. Tallene for husholdningsforbruket i hver sone er gitt av Drammen kommune og det er usikkert hvordan de er beregnet.

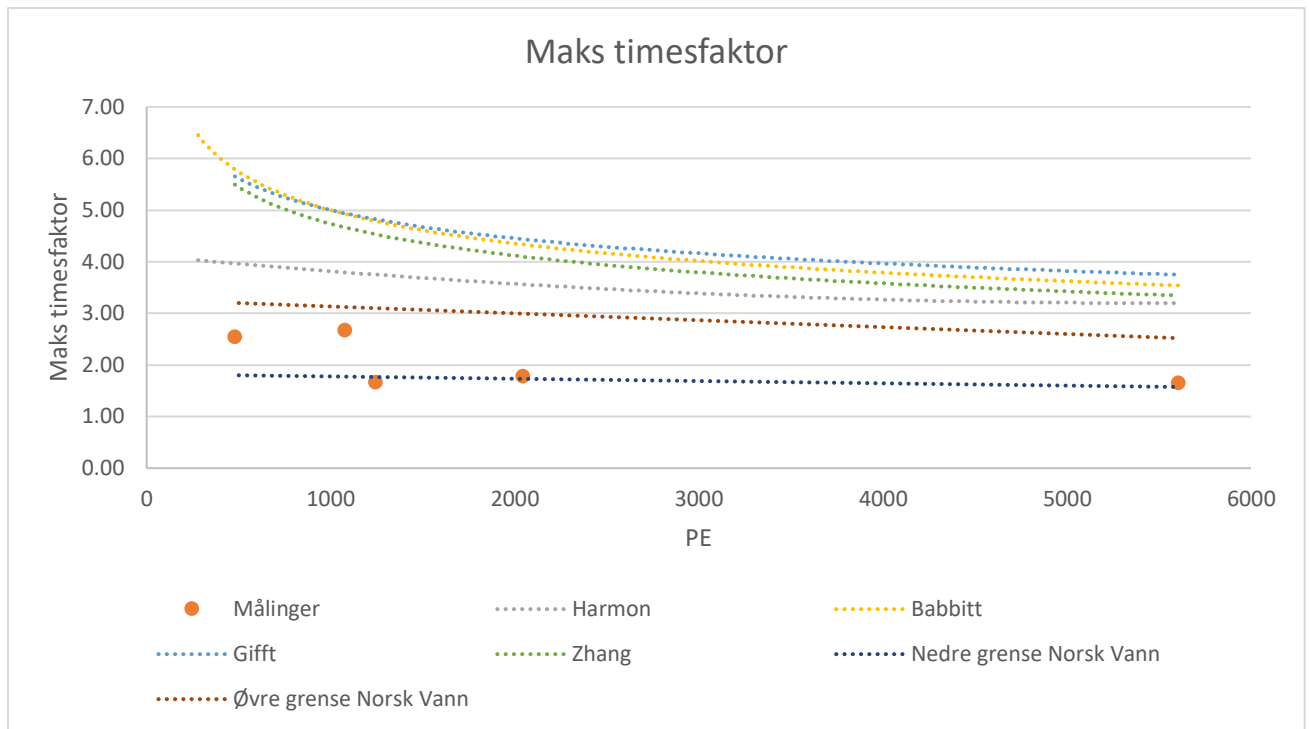
4.3 Døgn- og timesfaktor



FIGUR 27: PLOTT OVER MAKS DØGNFAKTOR FOR HVER SONE SAMMEN MED DEN ØVRE OG NEDRE GRENSEN FRA NORSK VANN.

Over er den beregnede maksimale døgnfaktoren for hver sone plottet sammen med den øvre og nedre grensen som er anbefalt av Norsk Vann, mot antall PE som er tilkoblet sonen. De beregnede maksimale døgnfaktorene synker ved økende PE, utenom Lammersgate med 1076 PE som har en økning i forhold til Bera med 479 PE. Målingene følger samme trend som den nedre grensen fra Norsk Vann, men ligger litt under denne. Den samme trenden fant de i et forsøk gjort i Sverige for Svenskt Vatten (Hammarlund et al., 2020). Anbefalingene fra Norsk Vann stammer fra Svenskt Vatten.

Fra de beregningene som er gjort i denne avhandlingen tyder det på at grensene som er anbefalt av Norsk Vann er noe for høye, spesielt den øvre grensen. Ved bruk av denne vil den maksimale døgnfaktoren være høyere enn den er i realiteten ut ifra de målingene som er gjort. Det vil da være hensiktsmessig å bruke den nedregrensen. Den mest nøyaktige metoden er å gjøre målinger på de aktuelle sonene, for å kunne beregne den maksimale døgnfaktoren. Da vil de lokale forholdene og usikkerhetene tas med i betraktningene.



FIGUR 28: PLOTT OVER MAKS TIMESFAKTOR FOR HVER SONE SAMMEN MED ØVRE OG NEDRE GRENSE FRA NORSK VANN, SAMT FORMLENE FRA HARMON, BABBITT, GIFFT OG ZHANG.

Over er den beregnede maksimale timesfaktoren plottet sammen med den øvre og nedre grensen til Norsk Vann, samt formlene til Harmon, Babbitt, Gifft og Zhang, mot antall PE. Trenden for alle plottene er at maks timesfaktor synker ved økende antall PE. Dette er som forventet ut ifra litteraturen beskrevet i kapittel 2.3.3 Time. Målingene følger også denne trenden, uten om sonen Lammersgate som også her har en liten økning i forhold til Bera. Siden det er sonen Lammersgate som er en utligger i forhold til trenden som er å forvente, er det naturlig å tenke at det kan være feilkilder til målingene gjort i denne sonen. Det kan gjøre at både døgnfaktoren og timesfaktoren blir høyere en forventet. Det er også en mulighet, tatt i betraktning, at Lammersgate er en liten og sentrumsnær sone gjør at den ikke følger den forventede trenden.

Fra beregningene som er gjort tyder det også her på at den øvrige grensen fra Norsk Vann er noe for høy. Spesielt for de sonene som har noe høyere antall PE, som følger den nedre grensen tett. Dette kan medføre at timesfaktorene som brukes er for høye i forhold til realiteten. Det samme vil gjelde for den maksimale timesfaktoren som for den maksimale døgnfaktoren, at den optimale metoden vil være å gjøre spesifikke målinger på de aktuelle sonene for å kunne beregne faktorene. Som nevnt i kapittel 4.4, kan det i større soner gi utslag

på hvilken rørdimensjon som gir høy nok kapasitet hvis det brukes døgn- og timesfaktorer som er for høye i forhold til det man kan forvente i praksis.

Formlene som er plottet er beskrevet i kapitel 2.4. Disse ligger langt over de målte verdiene, og anbefalingene til Norsk Vann, men de er laget for avløpsvann som forutsetter at alt av vannforbruk går videre til avløpet for at de kan overføres til vannforbruk. Selv om formelene er eldre, viser det en veldig konservativ beregning av faktorene.

TABELL 11: F_{MAKS} , K_{MAKS} OG $K_{SNITTMaks}$ FOR HVER SONE.

Sone	PE	Maks døgnfaktor	Maks timesfaktor	Snitt timesfaktor
Bera	479	1,47	2,55	1,8
Lammersgate	1076	1,98	2,67	1,68
Aronsløkka	1243	1,44	1,67	1,38
Amtmannsvingen	2043	1,28	1,78	1,44
Konnerud	5604	1,09	1,65	1,49

Som tabellen over viser ligger den maksimale døgnfaktoren mellom 1,09 og 1,47, mens den maksimale timesfaktoren ligger mellom 1,65 og 2,55. Fra kapitel 2.4 kommer det frem at faktorene ligger noe høyere i andre land en det som er funnet i denne studien. I Canada ligger den maksimale døgnfaktoren mellom 1,5-2,75 mens den maksimale timesfaktoren ligger mellom 2,25-4,13. For USA ligger timesfaktoren mellom 2 og 3,4 stort sett, men kan variere noe mer for veldig tørre områder. For England varierer timesfaktoren mellom 1,75-2,25, noe som er nærmere det som er funnet i denne studien. Dette viser at variasjonen er stor mellom land og at de lokale forholdene spiller en stor rolle.

4.4 Sammenligning av k_{maks} og $k_{snittmaks}$

TABELL 12: BEREGNET MAKS TIMESFORBRUK VED BRUK K_{MAKS} OG $K_{SNITTMaks}$ FOR HVER SONE.

Sone	PE	Snitt forbruk	Målt maks forbruk	Beregnet med maks time	Beregnet med snitt time
Bera	479	0,72	1,96	2,70	1,91
Lammersgate	1076	2,15	6,47	11,37	7,15
Aronsløkka	1243	3,98	7,14	9,57	7,91
Amtmannsvingen	2043	28,82	59,45	65,66	53,12
Konnerud	5604	13,15	22,48	23,65	21,36

Over er det maksimale vannforbruket beregnet ved hjelp av formel (2) på side 9. I kolonne 5 er det brukt snitt forbruket, maks døgnfaktor og maks timesfaktor for å beregne dimensjonerende vannforbruk. I kolonne 6 er den samme beregningen gjort bare med bruk av snitt timesfaktor i stedet for maks timesfaktor. For å kunne sammenligne vannforbrukene er det i kolonne 4 funnet det målte maksforbruket til hver sone i måleperioden.

TABELL 13: PROSENT AV MÅLT MAKS TIMESFORBRUK VED BRUK AV K_{MAKS} OG $K_{SNITTMaks}$ FOR HVER SONE.

Sone	Prosent av målt maks vannforbruk	
	K_{maks}	$K_{snittmaks}$
Bera	137,70	97,20
Lammersgate	175,68	110,54
Aronsløkka	134,05	110,77
Amtmannsvingen	110,45	89,35
Konnerud	105,21	95,00
Gjennomsnitt	132,62	100,57

Beregningene over viser at ved å bruke både maks døgnfaktor og maks timesfaktoren for å beregne dimensjonerende vannføring, som Norsk Vann sin *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystemer* anbefaler, vil gi en vannføring som er høyere en det som faktisk er målt. For de sonene som det er sett på i denne avhandlingen var den beregnede vannføringen helt opp mot 1,75 ganger høyere en det som ble målt, med ett gjennomsnitt på 1,32. Fra resultatene for hver sone som er beskrevet i kapittel 4.1, kommer det frem at maks

døgnfaktor og maks timesfaktor ikke inntreffer på samme dag i noen av sonene. Dette tyder på at ved bruk av maks døgnfaktor og maks timesfaktor sammen vil gi en forhøyet dimensjonerende vannføring.

Ved bruk av gjennomsnitts timesfaktoren vil den maksimale overdimensjoneringen være på 1,17 ganger det faktiske målte vannforbruket, med et gjennomsnitt på 1,006. Dette virker veldig bra, men for tre av sonene vil det gi en lavere dimensjonerende vannføring, helt ned mot 0,894 ganger det som er realiteten ut ifra målingene. Ved bruk av denne metoden ville kapasiteten vært for lav i forhold til behovet i disse sonene, noe som ikke er ønskelig og som bryter med drikkevannsforskriften.

Sonene som det er sett på her er av liten størrelse med tanke på antall tilknyttede personer, og i forhold til vannforbruket. Det største vannforbruket er på 59,45 l/s som er relativt beskjedent. En økning på 30% eller avtagelse på 10%, av det reelle maksimale vannforbruket, vil ha lite å si på rørdimensjonen som blir valgt ved så små soner. Ved større soner som har et høyere vannforbruk, kan dette være av betydning. Det vil kunne påvirke hvilke rørdimensjoner som brukes. For eksempel i en sone hvor det målte maksimale vannforbruket er på 600 l/s, vil det tilsvare en rørdimensjon på 290 mm (Pipelife, 2022). Med en økning på 30% ved bruk av maks timesfaktor gir det en dimensjonerende vannføring på 780 l/s, som tilsvarer en rørdimensjon på 322 mm (Pipelife, 2022). Med Pipelife sitt PVC SDR 33 trykkrør vil det gi en unødvendig økning i rørdimensjon (Pipelife, 2020). Samtidig er det viktig at den rørdimensjonen som velges faktisk har høy nok kapasitet til å kunne håndtere det reelle vannforbruket i sonen.

4.5 Feilkilder

Det er viktig å påpeke at sonene det er sett på her er av liten størrelse, fra 479 PE til 5604 PE. Anbefalingene fra Norsk Vann gjelder fra 500 PE til 100 000 PE. Det gjør at det ikke er mulig å få det fulle bilde ut ifra de sonene det er sett på her, men det kan gi en liten indikasjon.

Målingene er også gjort på sonenivå og ikke på husholdningsnivå. Dette skaper en usikkerhet i målingene. Ved sonemålinger vil alt av vannforbruk inngå, som for eksempel lekkasjer og offentlig forbruk. Fra formel 2 kommer det fram at det er for husholdningsforbruket døgn- og timesfaktorene brukes og beregnes ut ifra. Dermed vil ikke bruken av sonemålinger gi et like nøyaktig svar. Dette fant de også i rapport Nr 2020-7 fra Svenskt Vatten, hvor beregninger gjort på sonemålinger var mer unøyaktige en de som ble gjort på husholdningsnivå (Hammarlund et al., 2020).

2021 var et år som var preget av pandemien med nedstengninger i samfunnet hele våren før det åpnet opp litt og litt gjennom sommeren før alt åpnet helt i september. Samfunnet var så åpent fra september til desember, hvor det igjen stengte ned. Dette kan ha påvirket vannforbruket noe, siden flere var hjemme i periodene hvor samfunnet var stengt ned og dermed gitt et kunstig høyt vannforbruk i disse periodene. Hvor stor påvirkning det har på resultatene er vanskelig å si, men det er ikke utenkelig at det kan ha spilt en rolle.

Målingene er bare gjort innenfor en kommune, noe som gjør det vanskelig å gi en generell tolkning av resultatene. Det vil være mange lokale forskjeller fra kommune til kommune som kan gjøre at døgn- og timesfaktorene vil variere noe.

For at resultatene skulle gitt et klarere bilde hadde det vært ønskelig og sett på flere soner, med en større variasjon i antall PE og i flere kommuner. Da ville påvirkningen fra feilkildene blitt mindre og det hadde vært mulig å gi en sterkere konklusjon.

5 Konklusjon

I denne studien har det blitt brukt data fra fem soner i Drammen kommune til å beregne husholdningsforbruket samt døgn- og timesfaktorer. De har så blitt sammenlignet med verdier funnet i litteraturen. Det ble også sammenlignet to ulike måter å beregne den maksimale timesfaktoren på, for å finne hvilken som representerer virkeligheten nærmest.

Husholdningsforbruket ble beregnet til å ha en lavere verdi enn det Norsk Vann anbefaler. Anbefalingene til Norsk Vann er generelle og tar ikke hensyn til lokale forhold, som det er gjort i denne studien. Samtidig er det sett på et for lite antall soner til å få en full oversikt over hele kommunen. Men det tyder på at det er gunstig å gjøre lokale målinger for å bestemme husholdningsforbruket.

Den maksimale døgn- og timesfaktoren fulgte trenden som kommer frem i litteraturen, ved økende antall PE synker både den maksimale døgn- og timesfaktoren. Verdiene fulgte den nedre grensen til Norsk Vann tett, som igjen er hentet fra Svenskt Vatten. Ettersom det kun er sett på soner som er i intervallet 479-5604 PE, blir det vanskelig å vurdere resultatene utover dette intervallet. Funn i denne studien viser at de maksimale døgn- og timesfaktorene for det gitte intervallet bør beregnes ut ifra de lokale forholdene eller ved bruk av den nedre grensen gitt av Norsk Vann.

Forskjellen på den maksimale timesfaktoren og den gjennomsnittlige maksimale timesfaktoren var ganske stor. Den maksimale timesfaktoren ga konsekvent en overdimensjonering av det maksimale timesforbruket. Den gjennomsnittlige maksimale timesfaktoren ga et vannforbruk som var nærmere den reelle verdien, men i noen tilfeller ble det en underdimensjonering som ikke er ønskelig. På bakgrunn av dette bør det gjøres individuelle vurderinger for sone til sone om hvilken timesfaktor som skal benyttes.

Forslag til videre studier:

- Gjøre målinger og beregninger på flere soner med ulik størrelse og lokasjon. Hvor det brukes målinger på husholdningsnivå.
- Sammenligne sonene på bakgrunn av karaktetistikk som boligtyper, industri mengde og demografi.

- Se på mulighetene for å kombinere døgn- og timesfaktorene til en faktor som representerer virkeligheten på en så nøyaktig som mulig.
- Hva er konsekvensene ved en overdimensjonering på grunn av bruken av feil husholdningsforbruk og døgn- og timesfaktorer.

Referanser

- Babbitt, H. E. (1958). *Sewerage and sewage treatment* (8 ed.). John Wiley & Sons.
- Balacco, G., Carbonara, A., Gioia, A., Iacobellis, V., & Piccinni, A. (2017). Evaluation of Peak Water Demand Factors in Puglia (Southern Italy). *Water (Basel)*, 9(2), 96.
<https://doi.org/10.3390/w9020096>
- Bergel, T., Szeląg, B., & Woyciechowska, O. (2017). Influence of a season on hourly and daily variations in water demand patterns in a rural water supply line – case study. *Journal of water and land development*, 34(1), 59-64. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0038>
- Bomo, A.-M., & Schade, M. (2015). Vannforbruk i husholdninger. En erfaringsinnhenting *Vann- og avløpsetaten Oslo kommune*, 9.
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., & Elphinston, A. J. (2016). *Twort's Water Supply* (Seventh edition ed.). San Diego, CA, USA: Elsevier Science.
- Drammen kommune. (2021, 10.08.2021). *Vannkilder og vannkvalitet* Retrieved 06.05 from <https://www.drammen.kommune.no/tjenester/vann-avlop/vannkilder-og-vannkvalitet/>
- Finn.no. (2022). <https://kart.finn.no/>
- Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften), Klima- og miljødepartementet (2004). <https://lovdata.no/pro/SF/forskrift/2004-06-01-931>
- Forskrift om brannforebygging, Justis- og beredskapsdepartementet (2015). <https://lovdata.no/pro/SF/forskrift/2015-12-17-1710>
- Forskrift om vannforsyning og drikkevann (drikkevannsforskriften), Helse- og omsorgsdepartementet (2016). <https://lovdata.no/pro/SF/forskrift/2016-12-22-1868>
- Giffit, H. M. (1945). Estimating Variations in Domestic Sewage Flows. *Water works & sewerage*.
- Government of Newfoundland and Labrador (2005). *Guidelines for the Design, Construction and Operation of Water and Sewerage Systems* G. o. N. a. Labrador.
- Hammarlund, H., Törneke, K., & Siegwang, L. (2020). *Dimensioneringstal för vattenförbrukning* (2020-7). S. V. AB. <http://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2020-07.pdf>
- Harmon, W. G. (1918). Forecasting sewage at Toledo under dry weather conditions. *Engineering News Record*, 80, 1253.
- Højrup, A., Therkildsen, L., Winther, A., Nordahn, P., Fisher, L., Plesner, J., Knudsen, N., Bjerregaard, N. V., Bjørno, K., & Feilberg, M. (2020). Vand i tal. DANVA.
https://www.danva.dk/media/7003/2020_vand-i-tal_web.pdf
- Jorgensen, B., Graymore, M., & O'Toole, K. (2009). Household water use behavior: An integrated model. *J Environ Manage*, 91(1), 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.009>

- Karlsson, E. (2022, 24.03.2022). *Fakta om utläckage av dricksvatten i ledningsnätet*. Svenskt Vatten Retrieved 11.05 from <https://www.svenskvatten.se/vattentjanster/rornat-och-klimat/fakta-om-utlackage/? t id=g8D7C143wpSSwyHpidtVAw%3d%3d& t uuid=iTOc11wDS9WJe3U7s5QDeA& t q=lackage& t tags=language%3asv%2csiteid%3ab47c99cb-a914-4f1b-8fba-9e4836a984f6%2candquerymatch& t hit.id=SvensktVatten Web Models Pages ArticlePage/ 20a7de12-4fb5-42b0-9e01-31f60ce79b48 sv& t hit.pos=2>
- Koutiva, I., Gerakopoulou, P., Makropoulos, C., & Vernardakis, C. (2017). Exploration of domestic water demand attitudes using qualitative and quantitative social research methods. *Urban water journal*, 14(3), 307-314. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1135968>
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T., & Thorolfsson, S. (2012). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem* (193 - 2012). N. V. BA.
- Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven), Kommunal- og distriktsdepartementet (2008). <https://lovdata.no/pro/NL/lov/2008-06-27-71>
- Pipelife. (2020). *PVC SDR 33 GRÅBLÅ TRYKKRØR, 6M*. Pipelife Norge AS. Retrieved 21.04 from <https://catalog.pipelife.com/no/articlelist/pvc-trykkror-180371/176370/pvc-u-sdr-33-greyblue-6-m-pressure-pipe>
- Pipelife. (2022). *KAPASITETSBEREGNING - FULL RØRLEDNING (VANN OG AVLØP)*. Pipelife Norge AS. Retrieved 21.04 from <https://www.pipelife.no/snarveier/beregningsprogrammer/kapasitetsberegning-full-roerledning.html>
- SCB. (2015). *Vattenanvändningen i Sverige 2015*. https://www.scb.se/contentassets/bcb304eb5e154bdf9aad3fbcd063a0d3/mi0902_2015a01_br_miftbr1701.pdf
- Sivertsen, E., & Bomo, A.-M. (2016). *Norske tall for vannforbruk med fokus på husholdningsforbruk* (B20 - 2016). N. V. BA.
- Snl. (2018, 18.01.2018). *Allmenningens tragedie*. Store norske leksikon. Retrieved 29.04 from https://snl.no/allmenningens_tragedie
- Statistisk sentralbyrå. (2021a). *Drammen kommune* <https://www.ssb.no/kommunefakta/drammen>
- Statistisk sentralbyrå. (2021b, 29. juni 2021). *Kommunal vannforsyning* <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/vann-og-avlop/statistikk/kommunal-vannforsyning>
- Törneke, K., Siegwang, L., Spännare, J., Ljunggren, O., & Bäckman, H. (2020). *Distribution av dricksvatten - Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utforming av allmänna vattenledningsnät* (P114). S. V. AB.
- Wastewater flow estimation and servicing guidelines* (2020). Winnipeg.ca

Water for agriculture and energy in Africa: The challenges of climate change (2008). R. o. t. m. conference. <https://www.fao.org/3/i2345e/i2345e04.pdf>

Zhang, X., Buchberger, S. G., & van Zyl, J. E. (2005). *A Theoretical Explanation for Peaking Factors*. A. S. o. C. Engineers.

Ødegaard, H., Johannessen, E., Rusten, B., Bjørn, E., & Paulsrud, B. (2020). *Veiledning for dimensjonering av avløpsreanseanlegg* (256/2020). (Norsk Vann rapport (trykt utg.), Issue.

Ødegaard, H., Norheim, B., & Norsk Vann, B. A. (2014). *Vann- og avløpsteknikk* (2. utg. ed.). Norsk Vann.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway