

INTERPRETARE ȘI UTILIZARE DMA DATE

DRAFT V01



CONȚINUT

Prefață	1
Prefață	2
Contribuitori	3
Lista acronimelor	6
1 Introducere	7
1.1 Context și raționament.....	7
1.2 Definirea DMA ca o frontieră de date.....	8
1.3 Structura acestei cărți.....	8
1.4 Folosirea acestei cărți.....	9
1.5 Interacțiunea cu alte publicații.....	9
1.6 Mulțumiri	9
2 Date de senzori DMA	10
2.1 Debitometre DMA	11
2.1.1 Tehnologia debitmetrelor	11
2.1.2 Criterii de selecție	11
2.1.3 Recomandări pentru alegerea contorului	15
2.1.4 Menținerea performanței debitmetrului.....	15
2.2 Senzori de presiune DMA.....	19
2.2.1 Tehnologii de senzori de presiune	19
2.2.2 Criterii de selecție	19
2.2.3 Locația senzorilor de presiune	20
2.2.4 Monitorizarea presiunii în scopuri suplimentare	22
2.3 Înregistrarea și rezoluția datelor.....	23
3 Incertitudinea și calitatea datelor în analiza pierderilor de apă bazate pe DMA	27
3.1 Fluxul de lucru al calității datelor.....	28
3.2 Corecția calibrării.....	29
3.2.1 Evaluarea pre-corecție	29
3.2.2 Corecție bazată pe calibrare în laborator	30
3.2.3 Corecție interpolată în timp	30
3.2.4 Corecție bazată pe verificarea câmpului	30

3.2.5	Compensarea temperaturii	31
3.2.6	Considerații de implementare	31
3.2.7	Implementare software	31
3.2.8	Cazuri speciale și provocări practice.....	32
3.2.9	Asigurarea calității și verificarea.....	33
3.3	Calculul incertitudinii	33
3.3.1	Principiile fundamentale ale evaluării incertitudinii	34
3.3.2	Cadru de implementare practică	35
3.3.3	Asigurarea calității și documentație.....	38
3.4	Validarea datelor	39
3.4.1	Verificări de bază	40
3.4.2	Metode clasice aplicate.....	42
3.5	Clasificarea calității.....	43
3.6	Vizualizarea calității datelor	44
3.7	Imputarea datelor	44
4	Estimarea nivelurilor de scurgere DMA.....	47
4.1	Înțelegerea datelor de flux DMA	48
4.1.1	Validarea limitelor DMA	48
4.1.2	Modelul diurn de curgere și componentele sale	49
4.1.3	Influența configurației aprovizionării și regimului de presiune.....	50
4.1.4	Variație săptămânală, lunară și sezonieră.....	53
4.1.5	Analiza tiparelor DMA pentru managementul cererii și prognoza	54
4.1.6	Parametri cheie ai fluxului.....	56
4.2	Metode de estimare a scurgerii.....	58
4.2.1	Metoda raportului.....	60
4.2.2	Bilanțul apei	60
4.2.3	Analiza debitului minim de noapte	72
4.2.4	Reconcilierea bilanțului apei cu analiza MNF	84
4.3	Estimarea scurgerii pentru cazuri speciale.....	87
4.3.1	DMA cu rezervoare de stocare pentru clienți	87
4.3.2	DMA-uri cu furnizare intermitentă	90
4.3.3	DMA cu control al presiunii	94
5	Interpretarea și utilizarea datelor privind scurgerile DMA pentru a planifica acțiuni	98
5.1	Evaluarea oportunității de reducere a scurgerilor	99

5.1.1	Model de pierdere a componentelor.....	100
5.1.2	Scurgeri de fundal.....	102
5.1.3	Scurgeri de explozie	110
5.2	Definirea politicii privind scurgerile și a țintelor de reducere	114
5.2.1	Managementul scurgerilor	114
5.2.2	Determinarea politicii minime de scurgere DMA.....	118
5.2.3	Stabilirea țintelor de scurgere	129
5.2.4	Monitorizarea nivelurilor de scurgere	136
5.2.5	Criterii pentru prioritizarea DMA.....	141
5.2.6	KPI-uri pentru activitățile de control al scurgerilor	145
6	Sisteme de Management al Datelor DMA	149
6.1	Arhitectura DMS și componentele funcționale	150
6.1.1	Stocarea datelor	152
6.1.2	Procesarea datelor	154
6.1.3	Analiza datelor	154
6.1.4	Luarea deciziilor.....	156
6.1.5	Acțiuni.....	157
6.1.6	Feedback și îmbunătățire	157
6.2	Criterii principale în selecția DMS	158
6.2.1	Evaluarea nevoilor	158
6.2.2	Arhitectura integrării datelor.....	159
6.2.3	Cadrul de Guvernanță a Datelor	159
6.2.4	Module.....	160
6.2.5	DMA-uri tradiționale vs rețele deschise.....	160
6.2.6	On-premises sau bazat pe cloud	161
6.2.7	Licențiere	161
6.2.8	Unelte fără licență.....	162
6.2.9	Costuri suplimentare.....	162
6.2.10	Furnizor.....	163
6.2.11	Limbă și geografie.....	165
6.2.12	Implementare	165
6.3	Sisteme de Management al Evenimentelor.....	166
6.3.1	Tipuri de EMS.....	167
6.3.2	Flux de lucru	168

6.3.3	Legea Plan-Do-Check-Act (PDCA)	169
6.3.4	Provocări comune	170
6.3.5	Exemple de alerte EMS	170
Anexă A	Matricea de maturitate DMA	175
Anexă B	Înregistratoare de date	178
	Înregistratoare de date DMA	178
	Moduri de comunicare LPWAN	178
	Intervalele de transmisie ale datelor de la data logger	178
	Importanța sincronizării timpului / intervalelor	179
	Potrivit pentru scop în condiții de instalare	179
	Interfața loggerului și potrivirea aplicațiilor	180
	Interfața bazată pe volum între intervale de impuls și volum (PIV).....	181
	Interfața bazată pe interval de impulsuri și timp (PIT)	182
	Interfață 4-20 mA – sourcing vs. sinking.....	182
	Interfețe bazate pe protocoale seriale cu fir	183
	Conectarea a două date logger-uri la aceeași ieșire	184
Anexă C	Evaluarea bugetelor de incertitudine.....	185
	Incertitudinea principală a măsurării	185
	Incertitudinea măsurării debitului	185
	Incertitudinea măsurării presiunii	187
	Incertitudinea rezolvării temporale și integrării.....	187
	Incertitudinea parametrilor derivate	188
	Incertitudinea componentei balanțului apei.....	188
	Incertitudinea minimă a fluxului nocturn.....	189
Anexă D	Utilizarea modelelor hidraulice pentru estimarea pierderilor de apă DMA	192
	Detecția pierderilor de apă folosind modele hidraulice	192
	Procesul de calibrare	193
	Date necesare pentru calibrare	194
	Parametri de calibrare și sensibilități	194
	Proces automatizat de calibrare	194
	Aplicarea modelelor hidraulice	195
Anexă E	Analiza presiunii DMA	196
	Zone de presiune discrete	196
	Utilizarea presiunilor de substituție	197

Calculule cheie de presiune pentru analiza scurgerilor	198
Relația dintre scurgerile de presiune și debitul (N1)	199
Pierderi de fundal ajustate la presiune	201
Anexă F Exemple practice de probleme de date DMA.....	203
Eroare de offset temporal	203
Eroarea unităților.....	204
Eroare de măsurare și înregistrare	205
Eroare de configurare a contorului	206
Eroare de configurare a presiunii	207
DMA cu profil pompat.....	207
Utilizator mare în DMA	208
Eroarea clientului în DMA.....	209
Anexă G Exemplu de sistem de estimare a scurgerilor DMA bazat pe date în cazuri reale	211
Disclaimer	214

Lista figurilor

Figura 2-1	Configurarea OXO (Crowder Consulting, 2022)	16
Figura 2-2	Configurarea OXO (Crowder Consulting, 2022)	17
Figura 2-3:	Tranzitorul de presiune capturat de registratorii de înaltă frecvență (1 secundă eșantion Rate) (sursa: HULO)	22
Figura 2-4	Impactul frecvenței detașării asupra captării variabilității hidraulice	24
Figura 2-5	Influența intervalelor de jurnalizare asupra artefactelor de discretizare (sursa: Gütermann AG, 2025).	24
Figura 2-6	Diferența de măsurare a presiunii între medie (solid) și valori max/min (umbrite) (sursa: Gutermann AG, 2025).	25
Figura 2-7	Înregistrarea tranzitoriilor de înaltă frecvență (sursa: Mobiltex FloPath).....	26
Figura 3-1	Date Flux de lucru	28
Figura 4-1	Modelul de curgere diurnă și componentele sale (sursa: Fabio Garzón-Contreras).	50
Figura 4-2	Modelul de flux și presiune prin alimentare gravitațională (sursa: Crowder Consulting, 2025)	51
Figura 4-3	DMA cu alimentare prin pompare - model de debit și presiune (UKWIR, 2015)	51
Figura 4-4	DMA controlat prin presiune - Modelul de debit și presiune (sursa: Crowder Consultanță, 2025).....	52
Figura 4-5	DMA intermitent de alimentare cu apă - model de debit și presiune	52
Figura 4-6	Diferența de tipar de debit cauzată de prezența rezervoarelor de stocare (sursa: WMI, 2019)	53
Figura 4-7	Modelul săptămânal de debit	53
Figura 4-8	Modelul lunar de debit (sursa: NIRAS, 2025)	54
Figura 4-9	Exemplu de metode de calcul DMA MNF (sursa: Crowder Consulting, 2025).....	57
Figura 4-10	Comparație cross-DMA folosind raportul MNF/AF (sursa: WMI, 2020).	60
Figura 4-11	Bilanț de Apă IWA.....	62
Figura 4-12	Monitorizarea tendințelor MNF	73
Figura 4-13	Decompunerea componentelor MNF.....	74
Figura 4-14	Un exemplu grafic al abordării Raportului dintre Utilizarea de Noapte față de Utilizarea de Zi	79
Figura 4-15	Variația zilnică a scurgerii (Liemberger, 2002).....	82
Figura 4-16	Diagramă de dispersie a operabilității DMA.	87
Figura 4-17	Măsurarea debitului într-un complex înalt de blocuri de apartamente din Istanbul	88
Figura 5-1	Defalcarea scurgerii totale în exemple de DMA-uri.....	99
Figura 5-2	Descompunerea semnalului MNF	100
Figura 5-3	Configurația de măsurare (AWWA, 2016).	104
Figura 5-4	Scurgeri de explozie DMA	111
Figura 5-5	Componente ale timpului de scurgere în explozie.....	111
Figura 5-6	Volum anual de explozie.	113
Figura 5-7	Scurgeri de explozie DMA	113
Figura 5-8	Patru piloni ai managementului scurgerilor.....	114

Figura 5-9 *Scurgerea totală DMA*116

Figura 5-10	<i>Reducerea duratei exploziei</i>	116
Figura 5-11	<i>Reducerea frecvenței exploziilor</i>	117
Figura 5-12	<i>Scurgere minimă realizată</i>	121
Figura 5-13	<i>Scurgeri minime realizabile versus scurgeri minime realizate</i>	123
Figura 5-14	<i>Exemplu de DMA ICF modelat</i>	124
Figura 5-15	<i>Rata naturală de creștere DMA</i>	126
Figura 5-16	<i>Intervenția pentru scurgeri active DMA</i>	126
Figura 5-17	<i>DMA Nightline NRR</i>	127
Figura 5-18	<i>Modelul de pierdere al componentelor folosind exemplul NRR (sursa: Crowder Consultanță, 2025)</i>	129
Figura 5-19	<i>Exemplu de scurgere în exces DMA</i>	131
Figura 5-20	<i>Ilustrarea nivelului de intrare și ieșire în DMA</i>	133
Figura 5-21	<i>Ilustrație privind urmărirea scurgerii DMA</i>	134
Figura 5-22	<i>Ilustrația volumului de intrare economică DMA</i>	135
Figura 5-23	<i>Ilustrație pentru disponibilitatea DMA</i>	136
Figura 5-24	<i>Exemplu de DMA indisponibil (sursa: Crowder Consulting)</i>	137
Figura 5-25	<i>Exemplu de tendință DMA MNF</i>	138
Figura 5-26	<i>Exemplu de grafic DMA cu flux net</i>	138
Figura 5-27	<i>Exemplu de tendință DMA privind balanțul apei de curgere nocturnă (sursa: Crowder Consultanță)</i>	139
Figura 5-28	<i>Exemplu de tendință zilnică de scurgeri DMA (sursa: Crowder Consulting)</i>	139
Figura 5-29	<i>Exemplu de tendință zilnică de scurgere în zone, agregată din DMA-uri (sursa: Crowder Consulting)</i>	140
Figura 5-30	<i>Evaluarea Operabilității DMA (sursa: Crowder Consulting)</i>	140
Figura 5-31	<i>Probleme tipice de funcționare DMA</i>	141
Figura 5-32	<i>Exemplu de management al scurgerilor DMA MNF</i>	142
Figura 5-33	<i>Exemplu de scurgere de curgere nocturnă în DMA (sursa: Crowder Consulting)</i>	143
Figura 5-34	<i>Exemplu pentru ținta de scurgere DMA, nivel de intrare și ieșire (sursa: Crowder Consultanță)</i>	143
Figura 5-35	<i>Exemplu de scurgere excedentară în DMA (sursa: Crowder Consulting)</i>	144
Figura 6-1	<i>Exemplu de tablou de bord al DMA Data Management System (sursa: Crowder Consulting)</i>	150
Figura 6-2	<i>Componente tipice ale Sistemelor de Management al Datelor DMA</i>	151
Figura 6-3	<i>Exemplu de tablou de bord al Sistemului de Management al Evenimentelor (sursa: Crowder Consultanță)</i>	166
Figura 6-4	<i>Procesul PDCA pentru evenimentele EMS</i>	169
FIGURA B -1	<i>Instalarea tipică a unui registrator de presiune NB IoT & LTE CAT M1 folosind un capacul hidrantului modificat pentru a accesa conducta</i>	180
FIGURA E -2	<i>Ilustrație a zonei de presiune discrete DMA</i>	196
FIGURA E -3	<i>Ilustrație a punctelor de monitorizare a presiunii DPA</i>	197
FIGURA E -4	<i>Ilustrația presiunilor surogate</i>	198
FIGURA E -5	<i>Ilustrația presiunii și scurgerii AZP</i>	198
FIGURA E -6	<i>Ilustrație pentru calculele presiunii cheie</i>	199
FIGURA E -7	<i>Ilustrația presiunii versus scurgeri</i>	200

FIGURA E -8 Exemplet de calcul al pierderii de fond cu ajustare a presiunii.	202
FIGURA E -9 Exemplet de oportunitate de scurgere DMA după ajustarea presiunii.	202
FIGURA F -10 Exemplet de semnal de flux cu eroare de offset temporal.	204
FIGURA F-11 Exemplet de semnal de curgere cu eroarea unei unități.....	204
FIGURA F-12 Exemplet de DMA neoperabil cu eroare de factor de scalare	205
FIGURA F -13 Exemplet de semnal de flux cu o problemă de calibrare a logger-ului	205
FIGURA F-14 Exemplet de DMA nefuncțional cu problemă de măsurare	206
FIGURA F-15 Exemplet de configurație a contorului de rezervor de stocare și DMA-uri	206
FIGURA F-16 Exemplet de eroare de configurație a presiunii.....	207
FIGURA F-17 Ilustrație DMA pompată	208
FIGURA F-18 Exemplet de DMA cu profil pompat	208
FIGURA F-19 Exemplet de utilizator mare care influențează fluxul net DMA înainte și după înregistrare.....	209
FIGURA F-20 Exemplet de eroare la atribuirea DMA a clientului	210
FIGURA F-21 Exemplet de eroare de citire de către client.	210
FIGURA G -1 Zona operațională a Companiei de Apă Brønderslev.....	211
FIGURA G -2 Sistem de supraveghere și management al datelor	212
FIGURA G -3 Tendința pierderii apei	212

Lista tabelelor

Tabelul 2-1	Prezentare generală a selecției contoarelor de debit DMA	18
Tabelul 2-2	Evaluări calitative ale tehnologiilor de senzori*	20
Tabelul 3-1	Cuantificarea incertitudinii	36
Tabelul 3-2	Incertitudinea standard	37
Tabelul 3-3	Exemplu de clasificare a calității datelor	44
Tabelul 3-4	Exemplu de vizualizare a calității datelor	44
Tabelul 4-1	Metode de calcul DMA MNF	57
Tabelul 4-2	Metode de estimare a nivelului de scurgere DMA	59
Tabelul 4-3	Metode de estimare a consumului nemăsurate.	65
Clasamentul 4-4	Metode de estimare a consumului de noapte al clienților	78
Tabelul 4-5	Interpretarea DMA Acțiuni reziduale și recomandate	86
Clasamentul 5-1 De bite de pierdere unitare de scurgere de fundal la o presiune de 50 m (UKWIR, 1994; actualizat 2011)	103
Tabelul 5-2	Ratele de scurgere de fond IWA (Fanner & Thornton, 2005)	103
Tabelul 5-3	Exemplu de calcul al pierderii de fond	107
Tabelul 5-4	Exemplu de calcul al pierderii de fond	109
Tabelul 5-5	Componente ale timpului de scurgere în explozie.	111
Tabelul 5-6	Intervale de durată implicită a rafalei pe categorii (UKWIR, 2006).	112
Tabelele 5-7	Debite de explozie reprezentative pe categorii de infrastructură (UKWIR, 2006).	113
Tabelul 5-8	Decompunerea coeficienților UARL (Lambert et al., 1999)	119
Tabelul 5-9	Exemplu de DMA pentru calculul UARL	120
Tabelul 5-10	Scurgerea recuperabilă folosind exemplul DMA UARL	120
Tabelele 5-11	Exemplu de DMA MAL	121
Tabelul 5-12	Scurgeri recuperabile folosind exemplu DMA MAL	122
Tabelul 5-13	Exemplu de DMA pentru calculul scurgerii de fond	122
Tabelul 5-14	Pierderi de fundal pentru condiții bune, medii și proaste	122
Tabelul 5-15	Exemplu echivalent de DMA ICF	124
Tabelul 5-16	Exemplu modelat de DMA pentru scurgeri de fundal	125
Tabelul 5-17	Exemplu de calcul anual al NRR DMA	127
Tabelul 5-18	Utilizarea NRR pentru a determina cerințele de resurse	128
Tabelul 5-19	Exemplu de țintă de zonă ILI	130
Tabelul 5-20	Exemple de ținte DMA bazate pe abordarea bazată pe ILI	130
Tabelul 5-21	Exemplu de țintă pentru o zonă	132
Tabelul 5-22	Pierderi de fundal Exemplu ELL	132
Tabelele 5-23	Exemplul stabilirii țintelor anuale de pierdere reală pentru DMA-uri	133
Tabelul 5-24	Exemplu de niveluri de intrare și ieșire DMA	134
Tabelul 5-25	Exemplu de monitorizare a schimbărilor debitului pe timp de noapte în DMA ..	142
Tabelul 5-26	DMA-urile prioritizate după scurgerile excesive	144
Tabelul 5-27	DMA-urile Clasificate după NRW%	145
Tabelul 5-28	Exemple de DMA-uri clasate după ILI	146

Tabelul 5-29 DMA-urile clasificate după pierderi reale pe conexiune și pe metru 146

Tabelul 5-30	Exemple de DMA-uri Clasate după CRLI.....	147
Clasamentul 6-1.....	Tipurile comune de date DMA stochează Water Utilities.	152
Tabelul 6-2	Tipuri principale de funcționalități (module) ale rețelelor de apă DMS.....	160
TABELUL A -1	Matricea de maturitate DMA.	177
TABELUL B -2	Rezumatul interfețelor de debitmetru către logger	181
TABELUL D -1	Tipuri tipice de măsurare în DMA-uri.	194
TABELUL D -2	Parametrii de calibrare DMA și sensibilitatea lor.	194
TABELUL E-1	Scenarii DMA pentru configurarea discretă a zonei de presiune.....	196
TABELUL E-1	Factori N1 pentru țevi metalice și din plastic.....	200
TABELUL E-1	Impactul factorilor N1 asupra NDF și pierderilor reale	201

PREFAȚĂ

Grupul de Specialiști în Pierderi de Apă al IWA (WLSG) este, de peste două decenii, în avangarda avansării cunoașterii globale și a celor mai bune practici în gestionarea pierderilor de apă. Reunind practicieni, cercetători și lideri din utilități din întreaga lume, Grupul reprezintă o rețea unică și colaborativă dedicată reducerii apei fără venituri și îmbunătățirii eficienței și sustenabilității sistemelor de distribuție a apei.

Ceea ce definește WLSG nu este doar expertiza sa tehnică, ci și ethosul său de colaborare deschisă. Munca prezentată în acest manual reflectă un efort colectiv dezvoltat de mulți membri activi ai Grupului, unde toate datele, experiența și perspectivele au fost împărtășite și contribuite liber. Acest spirit de deschidere este fundamental pentru misiunea Grupului: facilitarea transferului de cunoștințe peste granițe, sprijinirea utilităților în toate etapele maturității și asigurarea accesului la metodologii dovedite tuturor celor care au nevoie.

Această publicație este o inițiativă directă a WLSG și reprezintă o dovadă a forței comunității sale globale. Se bazează pe ani de învățare împărtășită, discuții și inovație, transformând experiența practică într-un ghidaj structurat care poate fi aplicat în contexte operaționale diverse. Așa cum s-a evidențiat în această manual, valoarea datelor, în special din zonele cu contor districtual, constă nu doar în colectarea lor, ci și în interpretarea și utilizarea lor pentru a stimula luarea eficientă a deciziilor și îmbunătățirea operațională.

În 2026, odată cu lansarea acestui manual, WLSG marchează 25 de ani. În această perioadă, Grupul a crescut într-o comunitate vibrantă și influentă, cu peste 5.000 de membri activi la nivel mondial. Acești profesioniști care lucrează în domeniul utilităților, consultanței, mediului academic și furnizorilor de tehnologie formează coloana vertebrală a progresului global în gestionarea pierderilor de apă. Acest manual este scris pentru ei și pentru mulți alții care se vor alătura acestei călătorii în anii ce vor urma.

Cunoștințele conținute în aceste pagini reflectă dedicarea și generozitatea colaboratorilor din întreaga WLSG. Nu este conceput ca o rețetă rigidă, ci ca o resursă practică și adaptabilă care sprijină atât practicienii cu experiență, cât și pe cei noi în domeniu. Astfel, continuă tradiția de lungă durată a Grupului: să ofere îndrumare bazată pe aplicații reale, informată de date și consolidată prin colaborare.

În calitate de președinte al Grupului IWA pentru Pierderi de Apă, sunt mândru să prezint acest manual ca parte a angajamentului nostru continuu de a avansa știința și practica gestionării pierderilor de apă. Mulțumesc sincer tuturor celor care și-au oferit timpul, expertiza și experiența pentru această inițiativă.

Stuart Hamilton

Președinte, Grupul de Specialiști în Pierderi de Apă IWA

PREFAȚĂ

Grupul de Specialiști în Pierderi de Apă IWA a dezvoltat primul său Manual DMA în 2007, care a fost revizuit și actualizat în 2024. Aceste Note de Ghidare sunt destinate ca o introducere pentru practicienii în scurgeri în beneficiile, proiectarea, înființarea și gestionarea Zonelor cu Contor Districtual.

Pe măsură ce tot mai multe organizații din întreaga lume investesc în crearea de zone cu contoare de district în rețelele lor ca element cheie al strategiilor lor de reducere a pierderilor de apă, este nevoie de îndrumări suplimentare despre cum pot fi folosite datele de la DMA-uri pentru a evalua nivelurile pierderii de apă și a ghida operațiunile. Datele de debit și presiune din DMA-uri pot oferi operatorilor informații de diagnostic detaliate despre performanța rețelei și pot susține decizii eficiente de management.

Sunt implicat în toate aspectele gestionării pierderilor de apă de aproape 50 de ani și sunt membru al Grupului de Specialiști în Pierderi de Apă IWA de peste 20 de ani. Compania britanică de apă la care m-am alăturat în 1979 avea deja peste 90% din rețeaua sa acoperită de contoare districtuale, care erau citite manual în fiecare miercuri. Pe lângă proiectarea noilor DMA-uri, una dintre primele mele sarcini a fost să introduc citirile în baza noastră săptămânală de dozare și să folosesc datele pentru a planifica unde să trimitem tehnicienii noștri de detectare a scurgerilor. De atunci, tehnicile de colectare, stocare și analiză a datelor de flux DMA s-au îmbunătățit considerabil.

Propunerea mea inițială pentru această inițiativă a fost să includ unul sau două capitole în manualul actualizat privind utilizarea datelor DMA. Totuși, a devenit curând evident că existau prea multe informații de adunat în timpul disponibil, așa că am propus o inițiativă separată, care a fost lansată la Water Loss 2024 în San Sebastian, Spania. La acea conferință am cerut voluntari să conducă inițiativa și am fost încântat că Mikal Willmott și Fabio Garzon au venit în față și împreună am căzut de acord asupra domeniului. Li s-au alăturat o gamă largă de autori din medii diferite: 16 persoane din 12 țări au contribuit cu texte. Anna Bojko, care, pe lângă faptul că a contribuit cu text, a asumat împreună cu Lisa Brown sarcina dificilă de a aduna diversele surse și de a le compila într-un document cu format standard. Rolul meu a fost să susțin, să revizuiesc, să editez și să adaug puțin la documentul final.

Pe măsură ce mă apropii de finalul carierei mele legate de pierderea apei, sunt liniștit că există atât de mulți oameni bine informați și entuziaști care sunt la fel de interesați de subiect ca și mine. Aș dori să mulțumesc tuturor contribuitorilor pentru eforturile lor în realizarea a ceea ce sunt sigur că va fi un manual de referință util pentru industria globală a apei.

Stuart Trow

Promotor de inițiativă și consilier

CONTRIBUITORI



Anna Boyko
*Consultant independent în
aprovizionarea cu apă și
NRW*
Guiana Franceză

Anna are un master în Hidroinformatică și, de peste 20 de ani, este specializată în optimizarea sistemelor de distribuție a apei în țări cu venituri mici și medii, inclusiv NRW, modelare hidraulică, sectorizare și digitalizare, sprijinind utilitățile și programele finanțate de donatori pentru a traduce datele în reduceri măsurabile ale pierderilor de apă.



Katarzyna Chwastek
*Modelator Hidraulic
Senior, Jacobs*
Marea Britanie

Katarzyna are peste șase ani de experiență în sectorul utilităților de apă din Marea Britanie și proiecte internaționale, specializându-se în modelare hidraulică. Activitatea ei se concentrează pe gestionarea pierderilor de apă și aplicarea soluțiilor bazate pe date pentru a îmbunătăți performanța infrastructurii de apă și eficiența operațională.



Tom Crowder
Director,
Crowder Consulting
UK

Tom este Manager și Director Autorizat la Crowder Consulting, cu peste 25 de ani de experiență în rețele de apă și managementul pierderilor de apă. El conduce echipe de specialitate, dezvoltă servicii noi, oferă consultanță și proiecte digitale și face parte din comitetul Grupului de Specialiști în Pierderi de Apă al Asociației Internaționale a Apei.



Igor Dundovic
*Consultant în Alimentarea
cu Apă Hidromodel*
Croația

Igor este specialist în apă, inginer autorizat și educator, cunoscut pentru expertiza sa în modelare hidraulică, rezolvarea problemelor și stabilirea DMA/PMA pentru proiecte de reducere a NRW. A lucrat la proiecte în Europa, Asia și Africa, colaborând cu 50 de furnizori diferiți de servicii de apă.



Guillaume Féry Specialist
Senior Independent în
Sectorul Apei /
Transformare Digitală și
Tehnologie, Elveția

Guillaume este specialist în utilități de apă, inginer WASH și expert în cleantech, cu peste 20 de ani de experiență în managementul apei și tehnologie. Din 2019, a consiliat bănci de dezvoltare în privința inițiativelor de reziliență inteligentă la apă și climă în Africa, Caraibe și Asia de Sud, și scrie despre digitalizare, adoptarea tehnologiei, impact și managementul

proiectelor.

Fabio Garzón-Contreras
*Specialist în pierderi de apă,
HydroFlux
Columbia*



Fabio este inginer hidrotehnic cu 36 de ani de experiență în gestionarea resurselor de apă. Este specializat în programe de reducere a performanței NRW și eficiență a utilităților de apă pentru organizații majore, inclusiv Banca Mondială, IDB și Miya, activând în peste 30 de țări. S-a alăturat Comitetului de Management IWA WLSG în 2022.



Claudio Cortés Henríquez
Specialist în pierderi de apă Aguas Antofagasta Chile

Claudio a lucrat aproape 10 ani în controlul pierderilor de apă în nordul Chile. Cu experiență în îmbunătățirea continuă și analiza datelor, el se concentrează pe îmbunătățirea proceselor de reducere a apei fără venituri și a condus testarea și implementarea tehnologiilor pentru îmbunătățirea gestionării scurgerilor.



Klavs Høgh
Director de Proiect NIRAS A/S Danemarca

Klavs a lucrat în domeniul hidroinformaticii de peste 30 de ani, specializându-se în aplicarea sistemelor inteligente de apă, modelelor hidraulice și a gemenilor digitali pentru a sprijini gestionarea apei non-profit și controlul pierderilor de apă. Klavs are o vastă experiență în proiectarea sistemelor inteligente de apă cu integrare online/în timp real cu sistemele operaționale.



Frank van der Hulst
Co-fondator și CTO HULO Țările de Jos

Frank are experiență în apă, robotică și analiză de date în timp real, având o vastă experiență în transformarea cercetării în soluții software scalabile. Frank a colaborat strâns cu companiile de utilități la proiecte pilot și desfășurări, conectând modelarea hidraulică avansată cu nevoile operaționale practice.



Thomas Kressin
Managerul global de produs Gutermann Germania

Thomas Păstrează Diplome în ingineria și marketingul telecomunicațiilor și peste 20 de ani de experiență globală în managementul produselor în domeniul Jucători importanți din industria de contoare. Din 2023, S-a concentrat pe detectarea scurgerilor acustice, pasionat de livrarea de soluții semnificative, orientate spre aplicații, care creează valoare pentru utilitățile din întreaga lume.



Metin Misirdali
Specialist în aprovizionarea cu apă Turcia/EAU

Metin este inginer civil (MSc) cu peste două decenii de experiență în structuri hidraulice și infrastructură de apă. În Turcia și regiunea GCC, Metin a fost consultant și în colaborare cu utilitățile de apă pentru implementarea transformării digitale, modelării hidraulice și reducerii NRW.



Thorkil Neergaard
Consultant independent, fost CEO Brønderslev Water Company Ltd. Danemarca

Thorkil este CEO al companiei de apă Brønderslev Ltd. de 11 ani. El și utilitatea de apă se numără printre liderii Europei în captarea și combinarea datelor de apă în timp real din mai multe surse, inclusiv contoare inteligente într-un sistem avansat de management bazat pe GIS.



Mark Nicol *Director
Comercial HWM
Global
Marea Britanie / Malaezia*

Mark are peste 25 de ani de experiență în gestionarea aprovizionării cu apă pe piețele dezvoltate și emergente. Specializat în controlul NRW, detectarea scurgerilor și gestionarea activelor conductelor, el a condus soluții inovatoare, bazate pe tehnologie, pentru utilități din întreaga lume.



Julian Sepulveda
Specialist în aprovizionarea cu apă în Columbia

Julian este inginer de apă cu specializare în finanțe și deține un MBA, aducând 28 de ani de experiență internațională în distribuția apei potabile. Expert în operațiuni de rețea și reducerea NRW, combinând modelarea hidraulică, managementul activelor și strategii de măsurare districtuală.



Stuart Trow
*HWM Global
UK*

Stuart a dedicat aproape 50 de ani managementului pierderilor de apă și a fost membru activ al Grupului IWA pentru Pierderi de Apă timp de peste două decenii. Începându-și cariera în 1979, a contribuit la avansarea proiectării DMA-urilor, colectării și analizei datelor, precum și a strategiei de scurgere.



Graham Waley
*Consultant principal în
managementul activelor
Stantec
Regatul Unit & Irlanda*

Graham este un profesionist în managementul activelor și practician în managementul pierderilor de apă, cu peste 20 de ani de experiență în sectorul apei. Stabilizat în Marea Britanie, în prezent a lucrat în Europa și America de Nord pe teme legate de pierderea apei folosind DMA-uri. Este pasionat de furnizarea de servicii eficiente de apă prin gestionarea eficiență a rețelei.



Mikal Willmott
*Manager Performanță și
Strategie pentru Scurgeri
Severn Trent
Marea Britanie*

Mikal este manager autorizat pentru apă și mediu, care lucrează în managementul pierderilor de apă de peste 20 de ani. Mikal s-a concentrat pe înțelegerea cererii de apă, îmbunătățirea monitorizării debitului, îmbunătățirea inovației și aducerea celor mai bune practici privind scurgerile către un public mondial.

LISTA ACRONIMELOR

AL	Pierderi aparent	MCR	Costul marginal al veniturilor
ALC	Controlul activ al scurgerilor	MCW	Costul marginal al apei
AMI	Infrastructură avansată de măsurare	MF	Debit minim
AMR	Citare automată a contorului	MinHist	Debitul minim istoric de noapte
AOI	Zonă de interes	MNF	Metoda Debitului Minim de Noapte
AOP	Presiunea medie de funcționare	MUR	Subînmatriculare a contorului
AV	Supapă de aer	MVW	Valoarea marginală a apei
AZNP	Presiunea medie de noapte în zonă	NDF	Factorul de zi de noapte
AZP	Punct mediu de zonă	NF	Flux net
IUBITO	Estimarea burst-ului și a fundalului	NMUAF	Factorul de ajustare a utilizării fără contur
BU	Evaluarea scurgerilor de jos în sus	NPV	Valoarea Netă Presentă
CAL	Tăietori acustici corelați	NRR	Rata naturală de creștere a scurgerilor
CAPEX	Cheltuieli de capital	NRW	Apă non-profit
CARL	Pierderi reale anuale curente	OPEX	Cheltuieli operaționale
CLM	Model de pierdere a componentelor	PCC	Consum pe cap de locuitor
CLU	Utilizator înregistrat continuu	PHC	Consum pe gospodărie
CP	Punct critic	PIM	Metoda de inserție a conductei
DCF	Flux de numerar actualizat	PLC	Controlere logice programabile
DMA	Zona Districtuală cu Contor	PI	Indicatori de performanță
DPA	Zona de presiune discretă	PM	Gestionarea presiunii
ELAL	Nivelul economic al pierderilor aparente	PMA	Zonă Gestionată de Presiune
ELL	Nivelul economic al scurgerii	PMI	Indicele de gestionare a presiunii
EM	Contorul electromagnetic	PRV	Supapa de reducere a presiunii
EoS	Marginea străzii	PSV	Supapa de susținere a presiunii
ESPB	Explozie echivalentă a țevii de serviciu	PZT	Test de presiune zero
FAVAD	Descărcare cu arie fixă și variabilă	RL	Pierderi reale
FH	Hidrant de incendiu	SAM	Monitor de zonă mică
GIS	Sistemul Informațional Geografic	SCF	Factorul de corecție al sistemului
GPR	Radar de penetrare a solului	SR	Rezervor de serviciu
HDF	Factorul oră de zi	ST	Timpul de aprovizionare
ICF	Factorul de Stare a Infrastructurii	SV	Supapa de sluice
IHM	Monitorul individual al gospodăriei	TD	Evaluarea scurgerilor de sus în jos
ILI	Indicele de Scurgeri de Infrastructură	TIF	Metoda Fluxului Total Integrat
IWS	Aprovizionare intermitentă cu apă	Metodă	
LCA	Zona de Control al Scurgerilor	UARL	Pierderi anuale reale inevitabile
LDNC	Noaptea Domestică Legitimă Consum	UBL	Scurgeri inevitabile de fundal
LMS	Sistem de gestionare a scurgerilor	UFW	Apă necontabilizată
LNC	Correlator de zgomot de scurgere	WMS	Sistemul de Management al Muncii
LNC	Consumul legitim de noapte	WO	Spălare
LNHHNC	Noapte legitimă în afara gospodăriei Consum	WRZ	Zona de Resurse de Apă
MABL	Debitul minim de noapte realizabil	WSZ	Aprovizionarea cu apă Zon

1 INTRODUCERE

F. Garzón-Contreras¹ și M. Willmot²

¹ *HydroFlux, Cali, Columbia*

² *Severn Trent Water, Marea Britanie*

1.1 CONTEXT ȘI RAȚIONAMENT

În martie 2024, Grupul de Specialiști în Pierderi de Apă al IWA și-a actualizat notele de ghidare din 2007 pentru Zonele Districtuale cu Contoare (DMA)¹. Acest document de referință se concentrează pe conceptele fundamentale ale controlului scurgerilor prin managementul DMA și pe cele mai bune practici pentru proiectarea și stabilirea DMA-urilor. Totuși, stabilirea unui DMA este doar primul pas; adevărata valoare a investiției constă în datele pe care le generează.

Deși rețelele de zonare rămân o practică comună pentru reducerea și controlul scurgerilor, peisajul global s-a schimbat fundamental de la publicarea primului ghid IWA în 2007. Doi factori principali au creat o nevoie urgentă pentru această nouă publicație:

- ◆ **Catalizatorul Digital (Post-COVID-19):** Pandemia de COVID-19 a acționat ca un accelerator global pentru digitalizarea proceselor utilităților. Gestionarea rețelei la distanță a trecut de la o fază inovatoare "pilot" la o necesitate operațională. Companiile de utilități colectează acum mai multe date, la frecvențe mai mari, ca niciodată.
- ◆ **Era Inteligenței Artificiale și a Inteligenței Decizionale:** Apariția AI generative și a învățării automate avansate a schimbat provocarea industriei. Nu mai suntem săraci în date; suntem copleșiți de informații. Întrebarea pentru profesionistul modern în domeniul apei nu mai este "cum obțin date?", ci "ce fac cu aceste date pentru a lua decizii mai bune?"

Pentru a răspunde la această întrebare, acest manual oferă un cadru riguros pentru navigarea DMA digitală. Se concentrează pe patru piloni critici ai maturității datelor:

- ◆ **Calitatea datelor:** Depășind colectarea brută pentru a asigura că datele sunt corecte și validate.
- ◆ **Utilizarea datelor:** Oferirea de metodologii specifice pentru transformarea datelor de consum și a citirilor de debit și presiune în perspective operaționale acționabile.
- ◆ **Sustenabilitate:** Stabilirea protocoalelor pentru a asigura că datele rămân "potrivite scopului" pe toată durata de viață a activului.
- ◆ **Evaluarea încrederii:** Implementarea unei abordări structurate pentru evaluarea nivelului de încredere pe care practicienii ar trebui să aibă în datele lor înainte de a alocă resurse intervențiilor pe teren.

¹ ISO 24528:2021 (Secțiunea 3.9) definește termenul DMA ca "zonă de măsurare districtuală" (folosind măsurarea în loc de măsurare), acest document păstrează termenul tradițional "măsurată".

1.2 DEFINIREA DMA CA O GRANIȚĂ DE DATE

În contextul interpretării datelor, un DMA este definit nu doar prin conductele sale fizice, ci și ca o zonă discretă de bilanț al apei. Pentru a interpreta corect datele, trebuie să luăm în considerare diversele configurații hidraulice întâlnite în rețelele moderne:

- ◆ **DMA cu intrare unică:** Forma cea mai simplă, în care toată apa intră printr-un singur punct măsurat și nu există ieșiri măsurate.
- ◆ **DMA multi-intrări:** Zone alimentate de doi sau mai mulți metri. Aici, sincronizarea datelor este esențială; dacă ceasurile de pe logger-uri nu sunt perfect aliniate, datele combinate de flux vor duce la erori în analiza Low Night Flow (MNF).
- ◆ **DMA în cascadă (transfer):** O zonă în care apa intră printr-o intrare, dar o parte este "transferată" printr-un contor secundar pentru a alimenta o zonă în aval. În acest caz, "Debitul Net" (Intrare minus ieșire) este singurul set de date valid pentru calculul scurgerii.
- ◆ **DMA-uri deschise vs. închise:** Deși ghidul benchmark-ului din 2024 promovează DMA-uri "închise", multe utilități operează DMA-uri "virtuale" sau "monitorizate", unde limitele sunt definite de puncte de date, nu de valve fizice.

Pentru scopurile acestui manual, un DMA este orice zonă discretă în care fluxul net poate fi calculat cu un nivel cunoscut de încredere.

1.3 STRUCTURA ACESTEI CĂRȚI

Pentru a ghida cititorul prin călătoria de la colectarea datelor brute la analiza operațională sofisticată, manualul este structurat în cinci capitole logice și o serie de anexe tehnice:

- ◆ **Capitolul 2: Date de senzori DMA** – Stabilește fundația tehnică explorând tipurile de debitometre și senzori de presiune folosiți în DMA-uri, concentrându-se pe capacitățile lor digitale și cerințele de ieșire de date.
- ◆ **Capitolul 3: Incertitudinea și calitatea datelor** – Abordează pasul critic al validării. Oferă un cadru pentru calibrare, evaluarea incertitudinii și gestionarea calității datelor pentru a asigura că informația este "potrivită scopului".
- ◆ **Capitolul 4: Estimarea nivelurilor de scurgere DMA** – Trece în faza de analiză, detaliind metodologii pentru interpretarea datelor de curgere și estimarea scurgerilor, inclusiv abordări specializate pentru DMA-uri complexe sau "cazuri speciale".
- ◆ **Capitolul 5: Interpretarea și utilizarea datelor DMA pentru a planifica acțiuni** – Capitolul operațional de bază. Se concentrează pe utilizarea datelor pentru a lua decizii, de la modelarea pierderilor componentelor și analiza presiunii până la stabilirea țintelor de scurgere și prioritizarea intervențiilor pe teren.
- ◆ **Capitolul 6: Sisteme de Management al Datelor DMA** – Revizuieste infrastructura digitală necesară pentru a susține aceste analize, inclusiv Sisteme de Management al Datelor (DMS) și Sisteme de Management al Evenimentelor (EMS).
- ◆ **Anexe** – Oferă resurse tehnice detaliate, inclusiv o Matrică de Maturitate DMA (Anexa A), registre de date, evaluarea bugetelor de incertitudine, analiza presiunii DMA, studii practice de caz privind probleme de date și metode de estimare a scurgerilor bazate pe date.

1.4 FOLOSIREA ACESTEI CĂRȚI

Această carte a fost dezvoltată de o echipă specializată de practicieni în scurgeri și rețele din întreaga lume. Pe măsură ce au dezvoltat acest document, a devenit clar că complexitatea și datele disponibile din DMA-uri în diferite țări variau semnificativ. Prin urmare, nu fiecare concept, pont sau recomandare va fi benefic pentru orice DMA sau sistem de distribuție. Nu există o metodă universală. Ceea ce funcționează pentru un sistem nu se aplică neapărat și altuia. Cartea ar trebui privită ca o trusă de unelte, nu ca o metodologie universală de aplicat.

Scopul nostru este ca această carte să fie utilă practicienilor care lucrează în sisteme de distribuție cu doar câțiva senzori, precum și celor care lucrează în sisteme complexe de distribuție cu mulți senzori. Înainte de a citi acest document, practicienii pot considera util să evalueze maturitatea DMA-urilor lor. În acest scop, am creat o Matrice de Maturitate DMA, disponibilă în Anexa A.

Sperăm că această carte va aduce beneficii atât celor mai noi practicieni ai apei, cât și celor care au lucrat în industrie de mulți ani. Documentul poate fi citit de la început până la sfârșit; În acest scop, am aranjat capitolele într-o succesiune logică. Deși capitolele au fost scrise de specialiști diferiți, un standard editorial consecvent a fost aplicat pe tot parcursul.

1.5 INTERACȚIUNEA CU ALTE PUBLICAȚII

Nu se așteaptă ca această carte să fie un document complet exhaustiv privind controlul scurgerilor de DMA. Se așteaptă ca această carte să colaboreze cu alte documente, ghiduri și manuale create de Grupul de Specialiști în Pierderi de Apă al IWA. Multe dintre aceste ghiduri pot fi găsite la colecția de eBook-uri IWA (https://iwaponline.com/search-results?page=1&f_ContentType=Book) sau în Knowledge Web Hub on Non-Revenue Water (<https://globalnrw.com/free-downloads/books/>).

1.6 MULȚUMIRI

Ca editori, dorim să mulțumim numeroșilor experți dedicați care au contribuit la crearea acestei cărți. Cei care au sacrificat mult timp și și-au împărtășit cu generozitate cunoștințele pentru ca acest document să fie disponibil gratuit în întreaga lume. Ei, la fel ca noi, sunt dedicați reducerii pierderilor de apă, astfel încât apa să fie disponibilă nu doar pentru această generație, ci pentru multe alte generații de acum înainte.

2 DATELE SENZORULUI DMA

C. Henriquez¹, F. van de Hulst², T. Kressin³, M. Nicol⁴, J. Sepulveda⁵, G. Waley⁶

¹*Aguas Antofagasta, Chile;* ²*HULO, Țările de Jos;* ³*Gutermann, Germania;* ⁴*HWM Global, Marea Britanie;*
⁵*Independent, Columbia;* ⁶*Stantec, Marea Britanie & Irlanda*

REZUMAT

Acest capitol oferă îndrumări esențiale pentru gestionarea datelor senzorilor DMA, concentrându-se pe monitorizarea precisă a debitului și a presiunii ca bază pentru reducerea scurgerilor și a apei non-profit (NRW). Aceasta explorează principiile selecției senzorilor, plasării strategice și practicilor de întreținere necesare pentru a asigura acuratețea pe termen lung și integritatea datelor. De asemenea, examinează rolul critic al datelor înregistratoare în captarea datelor de înaltă rezoluție necesare pentru detectarea tranzitoriilor și pentru informații operaționale acționabile.



*Camera de Admisie DMA în EAU cu monitorizare suplimentară a calității apei și
Comunicare online de date*

2.1 CONTERE DE DEBIT DMA

Pentru a reduce eficient pierderile reale, utilitățile trebuie să implementeze măsuri precise de măsurare a debitului la fiecare punct de intrare și ieșire al DMA, inclusiv în rezervoarele interne, puțurile sau sursele. Această secțiune detaliază provocările metrologice unice ale monitorizării DMA — cum ar fi debitul bidirecțional și sensibilitatea la debit redus — și oferă un cadru pentru selectarea, implementarea și întreținerea contoarelor care rămân potrivite pentru scop.

2.1.1 TEHNOLOGIA DEBITOMETRULUI

Pentru a selecta senzorul corect, este necesar să înțelegem principiile mecanice și electronice ale tipurilor primare de contoare utilizate în monitorizarea DMA:

- ◆ Contoare în linie (instalații permanente):
 - Aparat electromagnetice (Mag-flow): Acestea funcționează după Legea Inducției a lui Faraday. Nu au piese mobile și prezintă practic nicio pierdere de capăt, ceea ce le face tehnologia preferată pentru prizele mari DMA. Excelează în fluxul bidirecțional și mențin o acuratețe ridicată pe perioade lungi.
 - Contoare ultrasonice în linie: Acestea folosesc tehnologia de timp de tranzit, unde semnalele acustice sunt transmise peste flux. La fel ca mag-metrele, nu au piese mobile și sunt foarte precise la debite mici, ceea ce este esențial pentru analiza MNF.
 - Aparatele Woltman Turbine: Acestea sunt contoare mecanice în care debitul apei rotește o turbină elicoidală. Deși sunt eficiente din punct de vedere al costurilor și ușor de întreținut, acestea sunt predispuse la uzură mecanică în timp și au o gamă limitată de "debit redus" comparativ cu contoarele statice.
- ◆ Sensori neinvazivi și specializați:
 - Aparat ultrasonice cu clemă: Acestea sunt fixate pe exteriorul unei țevi existente. Sunt ideale pentru "demonstrarea" temporară a unui DMA sau pentru verificarea acurateții unui contor mai vechi în linie fără a tăia țeava.
 - Sonde de inserție: Acestea sunt senzori (adesea electromagnetici) introduși printr-o mică atingere în coloana de apă. Sunt foarte portabile și utile pentru sondaje temporare ale debitului, dar în general sunt mai puțin precise decât aparatele cu diametru complet, deoarece măsoară viteza într-un singur punct.

2.1.2 CRITERII DE SELECȚIE

Pentru performanțe optime, gama dinamică și sensibilitatea la debit redus trebuie adaptate profilului specific de consum și dimensiunii DMA-ului. Selecția ar trebui să se bazeze pe următoarele caracteristici calitative și cantitative:

Robustețe la suprasarcină

Indică cât de bine poate măsura debitul dincolo de debitul operațional normal fără a fi deteriorat. Contoarele fără părți mobile sunt, prin natura lor, mai bune la a rezista acestui lucru.

Pierderea de cap

Pierderea de presiune (căderea) pe un metru ar trebui minimizată. În condiții normale de funcționare, inclusiv la debitul maxim permis, atât aparatele ultrasonice în linie, cât și cele mecanice Woltman prezintă de obicei performanțe comparabile, cu pierderi de greutate de ordinul a 0,25 bar. Contoarele electromagnetice, în schimb, prezintă în mod inerent cea mai mică pierdere de înălțime datorită construcției lor, care, din perspectivă hidraulică, este practic echivalentă cu o secțiune dreaptă de țevă (Godley A. & Willmott M., 2020).

Interval dinamic / raport de rotație

Intervalul dinamic specifică raportul dintre debitul maxim și cel minim la care aparatul de măsurare își atinge performanța de acuratețe definită. Conform OIML R 49 și EN 14154, acest raport este definit ca Q3/Q1 (debit permanent împărțit la debitul minim). Conform acestor standarde, contorul trebuie să respecte o eroare maximă permisă (MPE) de $\pm 2\%$ în zona superioară de debit și $\pm 5\%$ în zona inferioară. Acest cadru de clasificare este destinat în principal contoarelor de apă folosite în scopuri de facturare și metrologie legală.

Pentru debitmetrele în vrac folosite pentru măsurarea volumelor de admisie DMA, inclusiv contoare electromagnetice full-bore, contoare electromagnetice cu inserție, aparate ultrasonice în linie și aparate ultrasonice cu clemă, performanța este de obicei specificată diferit. Aceste instrumente definesc de obicei acuratețea ca procentul de citire (de exemplu, $\pm 0,2\%$ din valoarea măsurată) pe un interval de viteză specific, nu prin zone metrologice discrete (Q1, Q2, Q3). Raportul lor efectiv de rotație este, prin urmare, guvernat de viteza minimă măsurabilă, stabilitatea semnalului, condițiile de instalare, profilul hidraulic și performanța repetabilității.

În consecință, deși raportul OIML Q3/Q1 oferă un cadru util de clasificare pentru contoarele de transfer de custodie, el nu definește neapărat limitele de performanță operațională ale contoarelor vrac utilizate pentru monitorizarea DMA, unde stabilitatea la debit scăzut, repetibilitatea și acuratețea la MNF sunt criteriile tehnice principale.

Capacități de debit redus

Capacitatea de debit redus se referă la capacitatea aparatului de a măsura debite foarte mici cu o acuratețe și stabilitate acceptabile. Deși OIML R 49 și EN 14154 definesc performanța la debit redus folosind zone metrologice (Q1–Q2) pentru contoarele de facturare, acest cadru nu se aplică direct contoarelor vrac folosite la intrările DMA.

Pentru aparatele electromagnetice și ultrasonice (în linie, cu inserție sau cu clemă), performanța la debit redus este de obicei specificată prin viteza minimă măsurabilă, acuratețea exprimată ca procent de citire, stabilitate zero și repetabilitate. Selecția corectă a contorului presupune, prin urmare, potrivirea acestor parametri cu MNF-ul și profilul de operare al DMA-ului.

Supradimensionarea aparatului poate reduce viteza în perioadele de cerere scăzută, crescând incertitudinea măsurătorilor și compromițând evaluarea scurgerilor.



Din cauza cererii reduse, a scurgerilor sau a unei configurații DMA, un contor care a fost odată dimensionat optim poate fi supradimensionat. O revizuire periodică a dimensiunii contoarelor poate fi un exercițiu util, deoarece contoarele supradimensionate sunt înlocuite cu unele de dimensiuni optime.

Sensibilitatea poziției de instalare

Indică dacă contorul trebuie să respecte anumite criterii de montare pentru a-și menține acuratețea declarată și performanța la debit redus. De exemplu, majoritatea contoarelor cu un singur jet (tipuri de contoare mecanice) nu trebuie să depășească aproximativ 10° înclinație în nicio direcție pentru a-și păstra caracteristicile metrologice la debite mici. În mod similar, aparatele bulk meter, cum ar fi dispozitivele electromagnetice și ultrasonice, pot necesita condiții de conductă completă, orientare corectă a electrozilor, lungimi drepte adecvate în amonte și în aval, împământare corectă și evitarea acumulării de aer. Abaterea de la practicile recomandate de instalare poate introduce distorsiuni de profil, instabilitate a semnalului sau erori sistematice de măsurare, în special la viteze mici.

Perturbări ale profilului de curgere U0D0

U0D0 este un acronim standard care indică Upstream 0 DN și Downstream 0 DN. Aceasta indică faptul că aparatul de măsurare poate menține acuratețea măsurărilor, în ciuda prezenței perturbărilor de debit situate imediat în amonte sau în aval (0 diametre nominale) ale aparatului. Această caracteristică este deosebit de importantă atunci când instalarea este necesară imediat înainte sau după componente precum supapele de reducere a presiunii (PRV), coatele, filtrele sau reducerea diametrului țevilor. Conformitatea cu acest criteriu trebuie verificată pentru fiecare model de contor, deoarece performanța poate varia între producători și linii de produse.

Cerințe pentru strecurătoare / filtru

Pentru anumite tipuri de contoare, se recomandă un filtru sau filtru în amonte pentru a proteja contorul de resturi și pentru a ajuta la stabilizarea profilului de debit, ambele putând afecta acuratețea măsurărilor. Acest lucru este deosebit de important pentru contoarele mecanice cu piese mobile susceptibile la uzură sau blocaj.

Deși aparatele electromagnetice și ultrasonice nu au componente mobile, screening-ul upstream poate fi totuși recomandat în rețelele cu sarcini solide ridicate pentru a preveni murdăria senzorului, deteriorarea căptușei sau degradarea semnalului. Selecția strecurătoarei ar trebui să țină cont de dimensiunea plasei, pierderea de cap și accesibilitatea la întreținere.

Măsurarea debitului bidirecțional

Indică dacă tipul de măsurător poate menține acuratețea măsurărilor în ambele direcții de flux. Această caracteristică este deosebit de relevantă în DMA-urile în cascadă. Deși majoritatea contoarelor mecanice sunt fizic capabile să înregistreze debitul invers, acuratețea lor în acest mod este de obicei nedefinită, iar funcționarea în astfel de condiții poate accelera uzura. Prin urmare, contoarele mecanice trebuie evitate în instalațiile unde

se așteaptă un flux invers.

Conformitate MID / ISO / OIML

Indică dacă tipul de contor este disponibil cu aprobări metrologice recunoscute. Deși o astfel de certificare este obligatorie pentru aplicațiile de facturare și transfer de custodie, în general nu este obligatorie pentru contoarele în vrac utilizate în monitorizarea DMA sau controlul operațional.

Pentru aparatele electromagnetice și ultrasonice în vrac, conformitatea cu standarde precum OIML R 49, EN 14154 sau Directiva pentru Instrumente de Măsurare (MID) poate oferi totuși garanția unei acuratețe validate, repetabilitate și calibrare trasabilă în condiții de testare definite. Totuși, pentru aplicațiile DMA, performanța operațională la viteze mici, sensibilitatea la instalare și stabilitatea pe termen lung sunt de obicei mai critice decât aprobarea formală a metrologiei legale.

Opțiunea de a îngropa contorul

Anumite tipuri de contoare pot fi instalate fără camere (instalare îngropată), doar componentele electronice de registru și comunicații fiind poziționate într-un loc protejat și accesibil. Acest lucru poate reduce semnificativ amprenta de instalare și costurile asociate. Totuși, trebuie menționat că astfel de configurații pot duce la costuri mai mari de înlocuire sau întreținere din cauza accesului mai complex la componentele îngropate.

Verificare in situ

Indică dacă contorul permite verificarea pe teren a performanței sale fără a fi retras din serviciu. Aceasta implică de obicei verificări de diagnostic, verificare zero, comparație cu măsurători de referință sau validarea parametrilor interni, mai degrabă decât recalibrarea completă față de un standard trasabil.

Deși acuratețea absolută a unei astfel de verificări este limitată comparativ cu calibrarea în laborator, capacitatea de a confirma performanța și, acolo unde este permis, de a ajusta parametrii de configurare pe teren oferă un avantaj operațional semnificativ prin minimizarea timpilor de nefuncționare și a costurilor de întreținere .



Studiul UKWIR (2015) privind Acuratețea Contoarelor de District oferă îndrumări suplimentare privind acuratețea măsurătorilor DMA (UKWIRE, 2015).

Sursa de alimentare

Indică tipul de sursă de alimentare necesară (baterie internă, pachet de baterii înlocuibile, alimentare de rețea sau sursă externă de curent continuu) și durata de viață operațională sau consumul așteptat. Pentru contoarele alimentate cu baterii, durata de viață depinde de intervalul de eșantionare, înregistrarea datelor, frecvența comunicațiilor și condițiile de mediu; reducerea frecvenței de măsurare sau transmisie poate extinde semnificativ autonomia. Pentru contometrele de bulk alimentate extern, stabilitatea surselor și asigurările de rezervă (de exemplu, baterie sau condensator pentru reținerea datelor) sunt esențiale

considerente. Strategia energetică ar trebui să corespundă accesibilității la locație, cerințele de fiabilitate și politica de întreținere.

2.1.3 RECOMANDĂRI PENTRU ALEGEREA APARATULUI

Pe baza criteriilor stabilite în Secțiunea 2.1.2, următoarea logică de selecție este recomandată pentru diferite scenarii DMA și este rezumată în Tabelul 2-1:

- ◆ Pentru intrări DMA mari cu prioritate ridicată:
 - Recomandare: Electromagnetic (full-bore).
 - Raționament: Acestea oferă cea mai bună performanță generală, cu o pierdere minimă de capacitate și o sensibilitate superioară la debit redus. Lipsa componentelor mobile asigură stabilitatea datelor pentru analiza tendințelor bazată pe AI pe parcursul a 10–15 ani.

- ◆ Pentru DMA-uri cu multiple intrări sau potențial de reflux:
 - Recomandare: Ultrasonic (Inline) sau Electromagnetic.
 - Raționament: Aceste tehnologii sunt în mod inerent bidirecționale. Contoarele mecanice Woltman trebuie evitate aici, deoarece nu înregistrează corect debitul invers și pot suferi uzură accelerată.

- ◆ Pentru DMA-uri rezidențiale mici (concentrați-vă pe MNF):
 - Recomandare: cu un singur jet sau ultrasonic.
 - Raționament: Acestea oferă un interval dinamic ridicat (Q3/Q1), necesar pentru a capta debitele foarte mici ale unei zone rezidențiale mici pe timpul nopții.

- ◆ Pentru "Demonstrarea" sau verificarea temporară a contoarelor existente:
 - Recomandare: Ultrasonic cu clemă.
 - Raționament: Acestea permit verificarea pe teren fără a întrerupe serviciile sau a tăia țevile.

2.1.4 MENȚINEREA PERFORMANȚEI DEBITMETRULUI

Performanța contoarelor se schimbă inevitabil în timp, ceea ce face necesară verificarea regulată a acurateței printr-un program structurat de întreținere care reflectă condițiile specifice ale rețelei și tipurile de debitmetre utilizate. Pentru contoarele mecanice, degradarea performanței este în general mai ușor de identificat și este puternic influențată de circumstanțele operaționale. Factori precum calitatea apei, daunele fizice cauzate de resturi precum pietrele, expunerea la debite care depășesc capacitatea maximă permisă a contorului și funcționarea frecventă la debite foarte mici — adesea rezultatul supradimensionării — pot duce la o acuratețe redusă a măsurătorilor.

Contoarele mecanice cu turbine experimentează o deteriorare progresivă a preciziei din cauza uzurii pieselor mobile interne. Rata de degradare depinde în principal de condițiile de funcționare, în special de debitele ridicate susținute, volumul total trecut și calitatea apei.

Funcționarea continuă la debite mari poate accelera uzura și crește eroarea de măsurare.
Prin urmare,

intervalul adecvat de înlocuire ar trebui determinat de rata așteptată de deteriorare în condiții hidraulice reale, nu doar de o perioadă fixă de timp.

Contoarele statice, inclusiv cele ultrasonice și inductive magnetice, sunt mai puțin susceptibile la uzură mecanică, dar necesită totuși evaluări periodice ale performanței. Aceste contoare pot eșua din cauza unor probleme cu componentele electronice, baterii descărcate sau setări de configurare incorecte. Astfel de defecțiuni sistematice sunt adesea detectabile de sistemele de colectare a datelor ale utilității. Totuși, contoarele statice pot experimenta și o derivă de precizie care nu este întotdeauna imediat evidentă din alertele sistemului. De exemplu, depozitele care se acumulează în interiorul tubului de curgere pot crește viteza apei la un debit constant, ducând la supra-înregistrare, în timp ce contaminarea senzorilor în sine poate reduce precizia măsurătorilor.

În multe contexte operaționale, îndepărtarea unui contor DMA și trimiterea acestuia către un banc de testare certificat pentru verificare metrologică reprezintă o provocare logistică semnificativă, necesitând adesea timp de nefuncționare și costuri considerabile. Din acest motiv, una dintre cele mai practice alternative este instalarea unui debitmetru de referință temporar în serie cu contorul DMA pentru a compara direct măsurătorile. Acest lucru se poate face într-o configurație OXO — unde un contor de referință este plasat între doi hidranți cu o supapă închisă între ei — sau printr-un așa-numit sistem de "test de spălare" (Figura 2-2), sau printr-un așa-numit "sistem de test de spălare, în care consumul incremental de apă în interiorul DMA este măsurat de dispozitivul de referință, în timp ce creșterea corespunzătoare a debitului net este comparată cu citirile contorului DMA.

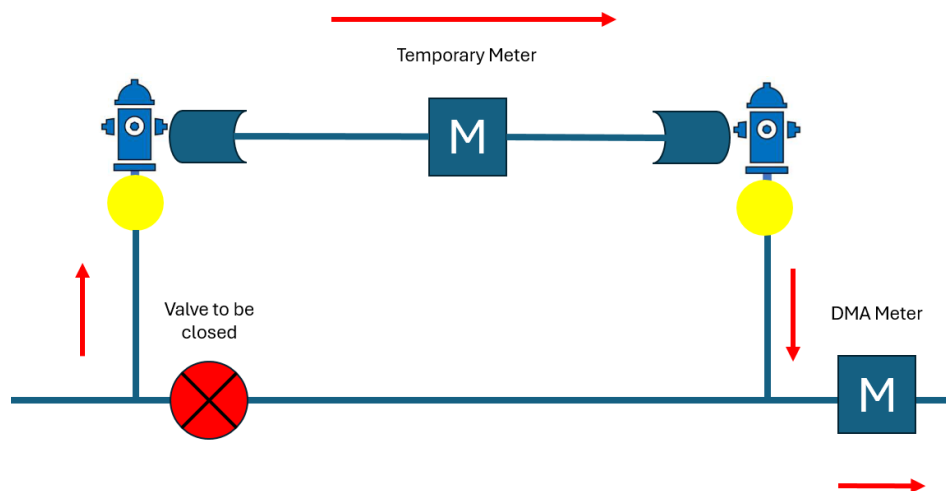


Figura 2-1 Configurația OXO (Crowder Consulting, 2022)



Figura 2-2 Configurația OXO (Crowder Consulting, 2022)

Deși aceste metode sunt adesea singurele opțiuni realiste pentru verificarea pe teren, ele au limitări. Metoda de testare a spălării, de exemplu, nu este potrivită pentru evaluarea performanței la debit redus, ceea ce este deosebit de important pentru măsurători precise ale liniilor de noapte. Mai mult, rezultatele obținute de la aparatele de referință portabile trebuie interpretate cu prudență. Chiar și bancurile de testare aprobate de MID pot prezenta variații de până la $\pm 0,5\%$, iar contoarele de referință portabile trebuie verificate periodic pentru a menține fiabilitatea. La fel de important, procedurile folosite pentru colectarea și analiza datelor trebuie să fie clar definite și respectate cu strictețe; în caz contrar, rezultatele pot să nu fie valabile pentru luarea deciziilor.

Tabelul 2-1 Prezentare generală a selecției contoarelor de debit DMA

Tip de instalare	Contoare în linie					Clamp On	Inserție Sonda
Tip de contor	Electromagnetic	Ultrasonic	Woltman Turbină	Un singur jet Turbină	Presiune Diferențial	Ultrasonic	Electro Magnetic
Robustețe la suprasarcină	+++	++	+	O	++	+++	++
Pierderea capului	+++	++	++	O	O	+++	++
Gama dinamică	50-125	200-800	50-100	100-300	10-20	20-100	20-100
Debit scăzut	+++	+++	O	++	--	-	-
Sensibil la poziție	+++	+++	+++	O	+++	O	O
Compatibil cu UOD0	Y	Y	Y	Y	O	Nu	Nu
Strecurătoare / filtru	N	N	R	R	N	NA	NA
Flux bidirecțional	Y	Y	N	N	N	Y	N
MID/ISO/OIML	Y	Y	Y	Y	N	N	N
DN mm	50 - >1000	50 - 300	50 - 500	50 -150	50 - 600	50 - 1000	>200
Costul contorului	--	+	+++	++		--	--
Opțiunea îngropare	Y	N	N	N	?	Y	N
Fiabilitate pe termen lung	+++	++	O	O	++	+++	+
Calibrare in situ	Y	N	N	N	N	Y	Y
Ani de viață a bateriei	5-15	5-20	NA	NA	NA	< 1 an	N (principal)

N = Nu; Y = Da; NA = nu se aplică; R = Recomandat; Performanță relativă +++ = Cea mai bună; O = mediu; --- cel mai puțin bun

**Tabelul 2-1 reflectă înțelegerea autorilor capitolului.*

2.2 SENZORI DE PRESIUNE DMA

Senzorii de presiune sunt o componentă fundamentală a monitorizării eficiente DMA. Din păcate, importanța lor este adesea subestimată: senzori cu acuratețe discutabilă sunt uneori implementați, sau calculele se bazează pe estimări aproximative în loc de măsurători fiabile pe teren. Acest lucru poate duce la evaluări inexacte ale performanței sistemului și poate submina strategiile de gestionare a presiunii.

2.2.1 TEHNOLOGII DE SENZORI DE PRESIUNE

Pentru monitorizarea DMA, senzorii de presiune sunt de obicei una dintre cele trei tehnologii de bază:

- ◆ Senzorii piezorezistivi de presiune folosesc diafragme din siliciu cu rezistențe integrate a căror rezistență variază sub stres; oferă o sensibilitate ridicată și designuri compacte, ceea ce îi face comuni în emițătoarele moderne de presiune a apei potabile. Deși rentabile, acestea sunt predispuse la deriva fără deplasare în timp și trebuie compensate suficient de termic; altfel, eroarea rezultată poate face măsurătorile digitale inutilizabile.
- ◆ Senzorii de presiune cu manometru de tensiune folosesc manometre metalice din folie lipite de o diafragmă; presiunea aplicată provoacă tensiune mecanică care modifică rezistența, oferind o soluție robustă pentru aplicații cu apă sub presiune medie spre înaltă, deși pot avea o rezoluție mai mică decât alte tipuri.
- ◆ Senzorii de presiune capacitivă măsoară schimbările de capacitate dintre o diafragmă și un electrod fix; rezoluția lor ridicată îi face potriviți pentru măsurători de nivel de presiune joasă și hidrostatică în sisteme de apă curată, deși pot fi mai sensibili la interferențe electromagnetice.

2.2.2 CRITERII DE SELECȚIE

La alegerea unui senzor, factorii cheie sunt:

- ◆ Interval de presiune necesar: De obicei, 0–10 până la 0-20 bar pentru aplicații DMA



Potrivește intervalul senzorului cât mai aproape de presiunea de funcționare așteptată. Deoarece acuratețea este adesea specificată ca un procent din scala completă (FS), folosirea unui senzor cu rază mare într-o zonă de presiune joasă creează o incertitudine relativă proporțional mai mare.

- ◆ Acuratețe și liniaritate: Acuratețea standard ar trebui să fie mai bună decât 0,5% în intervalul de temperatură așteptat.
- ◆ Rezoluție: Ar trebui să fie mai bună decât 0,01 bar pentru a surprinde schimbările diurne subtile ale profilului DMA.
- ◆ Rezistență la suprasarcină fizică: \geq se recomandă presiunea maximă de 4 ori.
- ◆ Frecvența de eșantionare: De obicei, presiunile sunt eșantionate la fiecare secundă (1Hz). Pentru monitorizare și detectare îmbunătățită a tranzițiilor rapizi (supratensiune), senzorul trebuie să fie capabil de eșantionare rapidă (>25Hz sau 25 de ori pe secundă).

- ◆ Frecvența de înregistrare: Registratorii salvează de obicei intervale de date de presiune de 1 minut, 5 sau 15 minute, bazându-se pe unul sau mai multe dintre minimul, maximum sau media probelor colectate în această perioadă. Capacitatea de a avea un canal secundar care captează tranziții de frecvență mai înaltă oferă o monitorizare îmbunătățită.

Tabelul 2-2 Evaluări calitative ale tehnologiilor de senzori*

Criterii	Piezorezistiv	Capacitiv	Extensiometru
Rază de acțiune (0–20 bar)	++	++	++
Rezoluție ($\leq 0,01$ bar)	+	++	o
Acuratețe (la scară completă)	+	++	+
Stabilitatea în timp	+	++	+
Consum de energie	+	o	+
Cost	++	o	+
Rezistența la suprasarcină	o	o	++
Stabilitatea vs. Variațiile de temperatură (noaptea – zi / lumină solară)	O (+**)	O (+**)	+

*Tabelul 2-2 reflectă înțelegerea autorilor capitolului

**Cu compensarea adecvată a temperaturii

2.2.3 LOCAȚIA SENZORILOR DE PRESIUNE

Senzorii de presiune trebuie poziționați strategic pentru a surprinde atât condițiile reprezentative, cât și cele critice în întregul DMA. Presiunea este un factor fundamental în calculele scurgerilor; Deoarece scurgerile depind foarte mult de presiune, presiunile mai mari ale rețelei cresc direct forța exercitată asupra pereților conductei, ducând la pierderi mai mari de apă și la degradarea mai rapidă a integrității conductei.

Puncte recomandate de monitorizare

Pentru a asigura menținerea presiunii în standardele cerute și pentru a obține parametrii necesari analizelor de scurgere, senzorii trebuie amplasați în următoarele locații:

- ◆ **Monitorizarea limitelor DMA (internă vs. externă):** Plasarea senzorilor de presiune atât în interiorul, cât și în afara limitelor DMA este esențială pentru verificarea izolării hidraulice și a integrității sistemului. Această configurație permite utilităților să efectueze Teste de Presiune Zero (ZPT) pentru a se asigura că supapele de limită sunt complet închise și nu trec debit, asigurând că calculele de scurgere se bazează pe un sistem cu adevărat conținut.
- ◆ **Puncte de intrare DMA:** Folosite pentru monitorizarea presiunilor în amonte și/sau în aval la granițele dintre DMA-uri. Aceste puncte de monitorizare a presiunii pot fi amplasate pe active precum contoare, supape de control al presiunii, pompe, rezervoare de stocare etc.
- ◆ **Supapele de reducere a presiunii (PRV):** Monitorizarea în amonte și în aval a PRV-urilor se concentrează pe sănătatea mecanică și performanța reglementară a acestor active specifice. Această detecție cu două puncte urmărește diferența de presiune (ΔP) pentru a verifica dacă punctele de setare de control sunt menținute și pentru a detecta "deriva" sau defectarea diafragmei interne înainte ca aceasta să

ducă la spargeri de conducte în aval. Monitorizarea unui al treilea canal de presiune în "camera superioară" a unui PRV permite, de asemenea, monitorizarea de la distanță a stării supapelor pentru a asigura performanțe optime.

- ◆ **Presiunea medie de zonă (AZP):** AZP este o locație de măsurare pe teren unde variațiile de presiune sunt aproximativ egale cu condițiile hidraulice medii pe întregul DMA.

Definirea AZP este vitală deoarece relația dintre presiune și scurgere (exponentul de scurgere N1) depinde de presiunea medie a zonei, nu de presiunea de intrare. Folosirea presiunii de intrare ca proxy poate duce la erori semnificative în estimarea pierderilor reale. Mai mult, AZP este variabila esențială pentru calcularea Factorului Noapte-Zi (NDF), care este folosit pentru a converti cu precizie măsurătorile MNF în volume totale zilnice de scurgere.

Definirea acestui punct implică trei metode principale (Lambert, 2022):

- **Nivelul mediu ponderat al solului (WAGL):** Aceasta este cea mai robustă și auditabilă metodă. Aceasta implică calcularea altitudinii medii a tuturor activelor—de obicei conexiuni de serviciu sau hidranți—din cadrul DMA. Un punct fizic (cum ar fi un hidrant) cu o elevație cea mai apropiată de înălțimea medie a conexiunii este apoi selectat pentru detecție permanentă sau portabilă a presiunii.
 - **Măsurători interne distribuite:** Mai mulți debordatori sunt temporar desfășurați în zonă pentru a identifica care locație specifică reflectă cel mai bine fluctuațiile medii de presiune ale întregului grup de probă pe o perioadă de 7 zile.
 - **Modelarea Analizei Rețelei (NAM):** Un model hidraulic calibrat este folosit pentru a identifica nodul specific al cărui profil de presiune corelează cel mai bine cu media tuturor nodurilor din diverse scenarii de cerere.
- ◆ **Punct Critic (CP):** Locația cea mai dezavantajată hidraulic, de obicei punctul cu cea mai mică presiune în timpul cererii de vârf. Obiectivul principal al monitorizării CP se bazează pe premisa că, dacă presiunea în acest punct este menținută peste pragul necesar de serviciu, se poate presupune cu încredere rezonabilă că toate celelalte puncte din DMA sunt aprovizionate adecvat.

Prin urmare, monitorizarea CP susține următoarele funcții operaționale cheie:

- **Conformitate cu reglementările:** Asigurarea că pragurile minime de servicii sunt respectate în mod constant, mai ales în perioadele de cerere ridicată sau perturbări operaționale.
 - **Validarea strategiilor:** Servește ca principal indicator pentru validarea eficacității strategiilor de gestionare a presiunii.
 - **Feedback de control dinamic:** În sistemele avansate, CP este folosit ca punct de feedback în timp real pentru a ajusta dinamic presiunile de ieșire ale Supapei de Reducere a Presiunii (PRV) în funcție de nevoile reale ale rețelei.
- ◆ **Alte infrastructuri relevante:** Senzorii de presiune pot fi instalați și la activele operaționale cheie din interiorul sau adiacente DMA-ului, cum ar fi rezervoare de serviciu, stații de pompare și seturi de boostere, pentru verificarea performanței pompei, detectarea restricțiilor laterale de aspirație și asigurarea că curbele pompei corespund cerințelor operaționale.

- ◆ **Pe tot parcursul DMA:** Pentru utilitățile care urmează o abordare digital-first, bazându-se pe digital twins, modele hidraulice sau analize bazate pe AI, detecția distribuită a presiunii în întregul DMA este cea mai importantă investiție strategică. Obiectivul principal al acestor senzori nu este doar monitorizarea presiunii în puncte individuale, ci maximizarea observabilității rețelei în ansamblu.

Din perspectiva sistemelor de control, observabilitatea determină cât de bine poate un model să reconstruiască starea internă completă a rețelei, presiunea și debitul la fiecare joncțiune și conductă, pornind dintr-un set limitat de măsurători. Când senzorii sunt plasați în locații care maximizează observabilitatea, geamănul digital poate deduce presiuni, curgeri și anomalii pe fiecare conductă din rețea, inclusiv la CP și AZP, fără a necesita senzori dedicați în acele puncte specifice. În contrast, un senzor de la CP îți informează despre un singur punct ; nu oferă nicio perspectivă asupra condițiilor din alte părți ale rețelei.

Poziționarea optimă a senzorilor pentru observabilitate poate fi determinată prin metode precum analiza sensibilității modelului hidraulic, abordări informaționale sau algoritmi de optimizare lacomă care selectează setul de noduri ce contribuie cel mai mult la acuratețea generală a estimării stării rețelei.

2.2.4 MONITORIZAREA PRESIUNII PENTRU SCOPURI SUPLIMENTARE

Datele de presiune conțin mult mai multe informații despre rețea decât doar scurgeri sau cerințe legale față de consumatori. Câteva utilizări suplimentare ale datelor de presiune sunt prezentate mai jos:

Detectarea anomaliilor

Pe lângă detectarea frecventă a anomaliilor de scurgere, alte tipuri de anomalii pot fi identificate folosind date de presiune și ajută la obținerea de informații despre operațiunile zilnice. Eficiența detectării anomaliilor depinde de frecvența de eșantionare a detașatorilor. Multe companii de utilități au logger-uri de frecvență înaltă în puncte critice pentru a controla pompele și supapele în timp real și frecvențe joase (>rata de înregistrare de 15 minute) în alte zone din rețea, deoarece acestea sunt mai puțin potrivite pentru detectarea anomaliilor . Pentru o detectare bună a anomaliilor, se recomandă folosirea unei rate de înregistrare mai scurte, ceea ce reprezintă un compromis bun între durata de viață a bateriei și informații.

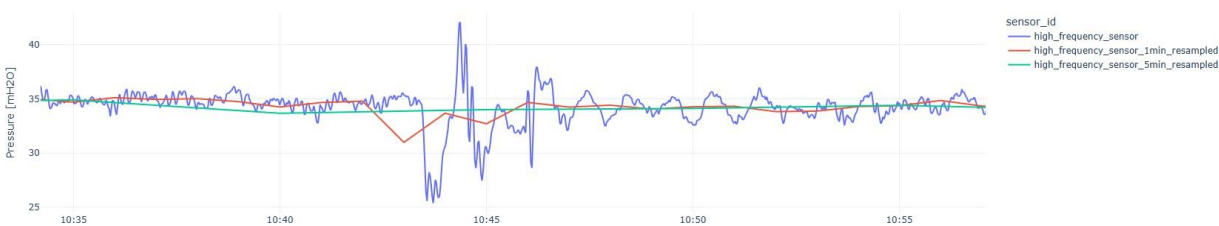


Figura 2-3: Tranzitorul de presiune capturat de logger-ele de înaltă frecvență (rată de eșantionare de 1 secundă) (sursa: HULO)

Detectarea anomaliilor poate oferi informații despre pompe și supape defecte; activități operaționale care nu sunt înregistrate în sistem, cum ar fi deschiderea și închiderea supapelor; sau consumatori mari care trag volume mari și închid brusc o supapă plutitoare, ceea ce poate introduce tranzitori de presiune în rețeaua din amonte.

Optimizarea energiei

Pentru a optimiza alimentarea cu apă, controlere avansate de presiune sunt adesea instalate pe supape critice, cum ar fi PRV-urile sau pompele cu viteză variabilă. Aceste sisteme de control necesită adesea înregistrare a frecvențelor înalte (rate de eșantionare de 1 secundă) pentru a detecta schimbările în timp real. Gestionarea dinamică a presiunii prin date de presiune în timp real permite ajustarea automată a supapelor de reducere a presiunii (PRV) și a operațiunilor pompelor pentru a menține niveluri optime de presiune în întreaga rețea. Gestionarea precisă a presiunii reduce semnificativ consumul de energie prin evitarea suprapresurizării și optimizarea programării pompelor pe baza tiparelor reale de cerere.

Asigurarea aprovizionării

Monitorizarea continuă a presiunii asigură că clienții primesc o aprovizionare adecvată cu apă, indiferent de fluctuațiile cererii sau evenimentele rețelei, permițând utilităților să respecte angajamentele contractuale de serviciu.

Multe cadre de reglementare specifică cerințe de presiune minimă și maximă pentru sistemele de distribuție a apei, făcând monitorizarea presiunii esențială pentru conformitatea legală. Menținerea unei presiuni constante previne plângerile de serviciu legate de presiunea scăzută a apei, în special în puncte critice precum cele mai înalte altitudini sau punctele de capăt îndepărtate.

2.3 ÎNREGISTRAREA DATELOR ȘI REZOLUȚIA

Pentru a asigura claritatea tehnică și a evita redundanța, această carte face distincția între cerințele de rezoluție a datelor și capacitățile fizice ale hardware-ului. Această secțiune se concentrează pe cerințele centrate pe date pentru monitorizarea DMA, în special modul în care intervalele de înregistrare și greutatea impulsurilor influențează acuratețea analizei MNF și a detectării tranzitorilor. În schimb, Anexa B oferă o referință inginerescă detaliată pentru hardware-ul fizic, acoperind durabilitatea mediului (IP68), protocoalele de comunicație precum NB-IoT și LTE-M, managementul bateriilor și interfețele tehnice dintre contoare și loggere.

Odată instalat, un data logger poate fi configurat să înregistreze măsurători la intervale de timp diferite. Un interval de 15 minute este folosit frecvent; totuși, intervale mai scurte (de exemplu, 5 minute sau 1 minut) oferă o rezoluție mai mare și permit o evaluare mai precisă a MNF, deoarece intervale mai lungi pot masca variații pe termen scurt, așa cum este arătat în Figura 2-4.

O alternativă la intervalele de înregistrare temporizate, o altă metodă de măsurare a fluxului este utilizarea temporizării intervalelor de impuls. Cronometrarea intervalului de impulsuri este o metodă de măsurare în care debitul este calculat prin înregistrarea timpului dintre impulsurile succesive generate de un senzor de debit și folosind aceste informații pentru a obține o valoare a debitului continuu. Fiecare impuls reprezintă un volum discret, iar la debite scăzute aceste impulsuri pot apărea rar, ceea ce duce la intervale lungi între ele. Dacă este interpretat instantaneu, acest lucru poate apărea ca perioade alternative de curgere și lipsă de debit. Pentru a depăși acest lucru, intervalele de timp măsurate între impulsuri sunt înregistrate,

permițând distribuirea uniformă a volumului total măsurat în timp. Acest proces de mediere netezește neregularitatea naturală a generării impulsurilor la debite mici, transformând datele sporadice ale impulsurilor într-o reprezentare stabilă și precisă a fluxului real. Ca urmare, temporizarea intervalelor de impulsuri

Medierea oferă o rezoluție și fiabilitate îmbunătățite în condiții de debit scăzut comparativ cu metodele simple de numărare a impulsurilor.

Figurile 2-5 arată cum diferite intervale de înregistrare (15, 5 și 1 minut) afectează debitul înregistrat atunci când greutatea impulsului este de 1 m^3 pe impuls. La un debit de aproximativ $100 \text{ m}^3/\text{h}$, un interval de 15 minute înregistrează multe impulsuri (aproximativ 25), rezultând un profil de curgere lin și stabil. La un interval de 5 minute, se numără doar 8–9 impulsuri, iar efectele de rotunjire încep să introducă fluctuații vizibile. La un interval de 1 minut, se înregistrează doar 1–2 impulsuri pe minut, cauzând variații evidente mari care nu reflectă schimbări hidraulice reale, ci natura discretă a semnalului impulsului. Figura demonstrează că intervalele scurte de înregistrare necesită o greutate mai mică a impulsurilor pentru a evita variabilitatea artificială și pentru a reprezenta cu acuratețe condițiile reale de flux.

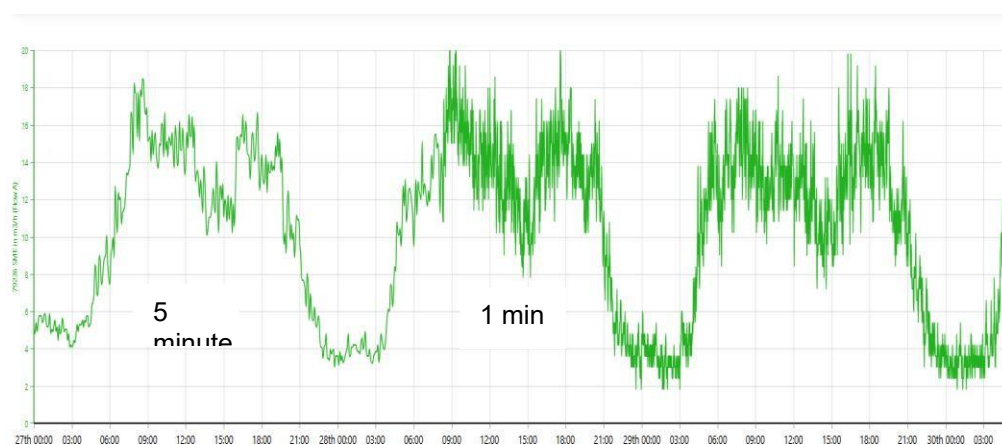


Figura 2-4 Impactul frecvenței exploatarei asupra captării variabilității hidraulice (sursa: Gutermann AG, 2025).

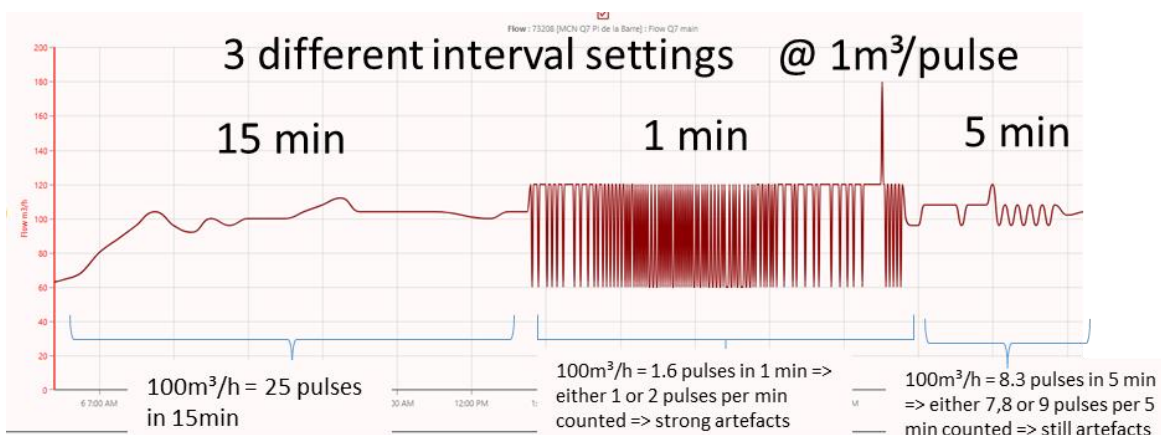


Figura 2-5 Influența intervalelor de jurnalizare asupra artefactelor de discretizare (sursa: Gutermann AG, 2025).



Selectați cu grijă intervalul de înregistrare în raport cu greutatea impulsului aparatului. Dacă volumul impulsului este prea mare pentru intervalul ales, datele înregistrate pot arăta fluctuații artificiale care nu reprezintă variații reale ale debitului.

Presiunea poate fluctua chiar mai rapid decât debitul și poate varia semnificativ într-o perioadă standard de 15 minute. Prin urmare, înregistratorii de presiune ar trebui să înregistreze nu doar valoarea medie pentru fiecare interval, ci și presiunile minime și maxime observate. Capturarea acestor extreme permite detectarea scăderilor de presiune sau a vârfurilor de presiune pe durată scurtă care altfel ar rămâne neobservate, îmbunătățind percepția operațională și capacitatea de răspuns.

Figura 2-6 ilustrează această abordare în care aria umbrită reprezintă presiunile minime și maxime înregistrate în fiecare interval de 15 minute. Fără aceste valori, scăderile sau vârfurile de presiune pe durată scurtă pot fi complet ignorate, întârziind răspunsul operațional.

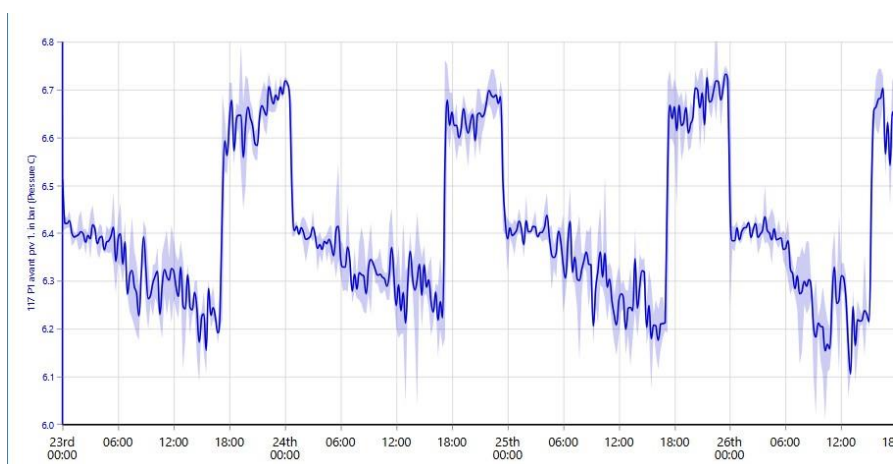


Figura 2-6 Diferență în măsurătorile de presiune între valorile medii (solide) și maxime/minime (umbrite) (sursa: Gutermann AG, 2025).



La alegerea rezoluției datelor măsurate pentru monitorizarea fluxului DMA, luați în considerare compromisul dintre granularitatea datelor și constrângerile operaționale, cum ar fi durata de viață a bateriei echipamentelor de măsurare, consumul de energie, frecvența transmiterii semnalului și volumul de stocare a datelor.

Pentru o rezoluție diagnostică mai mare, pot fi implementate registre de presiune de înaltă frecvență — eșantionare la mai mult de 100 Hz — pe tot DMA. Datele rezultate permit detectarea precisă a tranzițiilor de presiune: schimbări rapide și semnificative de presiune pe care intervalele standard de înregistrare nu le-ar putea surprinde.

Figura 2-7 arată un singur tranzitor înregistrat la 100Hz (10Hz înainte de lovirea tranzitoriei). Linia galbenă reprezintă tranzitul, roșul este medie, verdele este maxim, iar albastru este presiunile minime la eșantionarea de 1 secundă. Se poate vedea clar că fără înregistrarea de înaltă frecvență tranzitoria ar fi fost omisă.

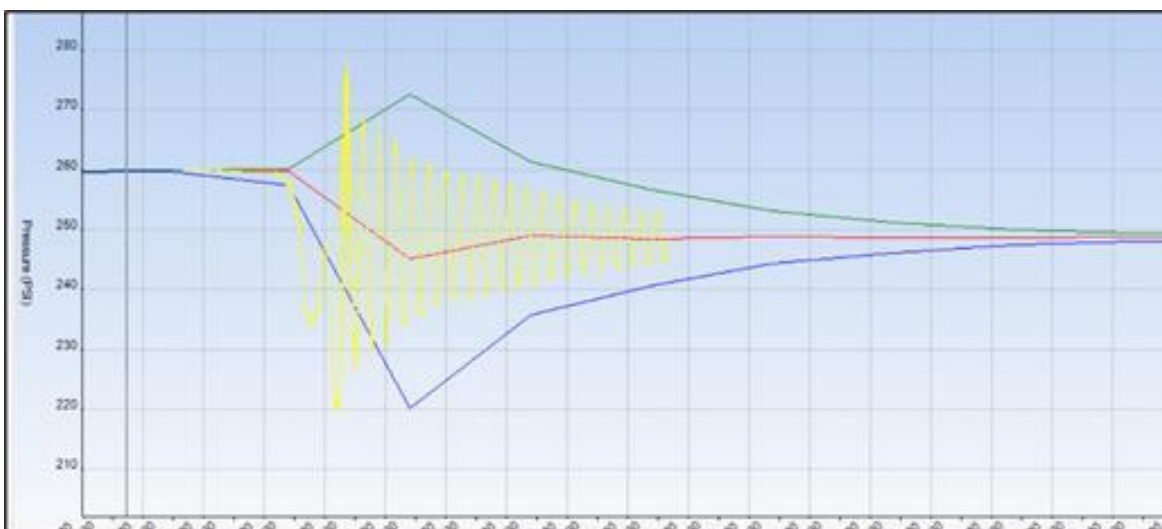


Figura 2-7 Înregistrarea tranzitorilor de înaltă frecvență (sursa: Mobiltex FloPath)

REFERINȚE

Godley A. & Willmott M. (2020). *DMA și măsurarea cu diametru mare - câteva principii directe*. Canalul de YouTube al Grupului de Specialiști în Pierderea Apei.

Lambert, A. (2022). *Calculule bune de scurgere necesită presiuni AZP. De ce sunt necesare AZP-urile și cum să le stabilim*. <https://www.leakssuitelibrary.com/average-zone-point/>

UKWIR (2015). *Acuratețea contoarelor de district*. UK Water Industry Research, Londra, Marea Britanie.



Modulul de telemetrie și control al Stației DMA de Control al Presiunii și Contoare, Columbia

3 INCERTITUDINEA ȘI CALITATEA DATELOR ÎN ANALIZA PIERDERILOR DE APĂ BAZATĂ PE DMA

C. Henriquez¹, T. Kressin², J. Sepulveda³, G. Waley⁴

¹*Aguas Antofagasta, Chile;* ²*Gutermann, Germania;* ³*Independent, Columbia;* ⁴*Stantec, Marea Britanie & Irlanda*

REZUMAT

Acest capitol prezintă un cadru structurat pentru gestionarea incertitudinii și a calității datelor în analiza pierderilor de apă bazată pe DMA, acoperind întregul lanț analitic, de la datele brute ale senzorilor până la rezultatele auditable, gata de decizie. Corecția calibrării abordează erorile sistematice și aleatorii din contoarele de debit și traductoare de presiune prin metode de verificare în laborator și pe teren, compensarea temperaturii și corecția datelor vechi. Evaluarea incertitudinii urmează metodologia GUM (JCGM, 2008), oferind un cadru în cinci pași pentru dezvoltarea bugetelor de incertitudine și comunicarea intervalelor de încredere pe indicatori-cheie precum MNF și componentele bilanțului de apă; ecuații detaliate de incertitudine pentru tipuri specifice de contoare sunt oferite în Anexa C.

Validarea datelor acoperă teste de plauzibilitate, verificări interne de consistență și detectarea valorilor aberrante statistice. Capitolul se încheie cu managementul calității datelor — clasificarea datelor după fiabilitate, vizualizarea indicatorilor de calitate și imputarea valorilor lipsă — asigurând că analizele DMA se bazează pe măsurători de fiabilitate cunoscută și documentată.



3.1 FLUXUL DE LUCRU AL CALITĂȚII DATELOR

Gestionarea eficientă a disponibilității, acurateței și fiabilității măsurătorilor DMA—în special a presiunii și debitului—este vitală pentru monitorizarea robustă și detectarea scurgerilor. Datele de înaltă calitate permit practicienilor să aibă încredere în analizele lor, să ia decizii informate și să optimizeze gestionarea apei, mai ales atunci când evaluează metrici critice precum MNF.

Figura 3-1 prezintă fluxul de lucru fundamental al calității datelor necesar pentru transformarea măsurătorilor brute ale senzorilor în perspective fiabile și acționabile în cadrul rețelelor de distribuție a apei, cu accent pe managementul DMA. Acest proces secvențial asigură integritatea și utilizabilitatea datelor colectate de la contoare de debit și senzori de presiune, stabilind o abordare structurată pentru gestionarea metrologiei în DMA-uri.

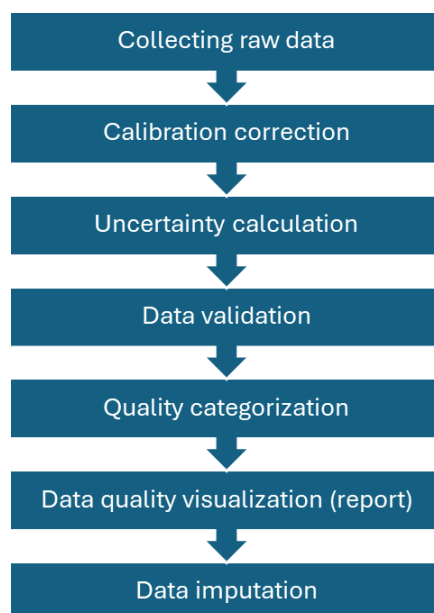


Figura 3-1 Flux de lucru de date.

Fluxul de lucru începe cu faza "Colectarea datelor brute", care implică colectarea măsurătorilor de la echipamentele de teren și care este descrisă în Secțiunea 2 și Anexa B. Aceste date inițiale sunt supuse diverselor erori sistematice și aleatorii, ceea ce face ca pasul următor—"Corecția calibrării"—să fie esențial. În timpul corecției de calibrare, se aplică factori și ajustări predeterminate pentru a atenua polarizarea instrumentului și erorile sistematice, aliniind astfel ieșirea brută cu standardele metrologice trasabile.

Apoi, faza "Calculul incertitudinii" cuantifică intervalul în care se află valoarea reală a măsurătorii. Această etapă stabilește nivelul de încredere al datelor și oferă baza pentru verificări suplimentare ale calității. Următoarea fază de "Validare a datelor" supune datele corectate și cuantificate unor teste riguroase de plauzibilitate și consistență pentru a identifica erori, inconsistențe sau anomalii.

Datele validate avansează apoi la "Clasificarea calității", unde fiecărui punct de date i se atribuie un indicator de calitate (de exemplu, Bun, Îndoielnic, Nesigur) bazat pe performanța sa

în testele de validare. Asta

Categorisirea informează etapele ulterioare, inclusiv "Vizualizarea calității datelor (raport)", care comunică calitatea generală și distribuția datelor fiabile către părțile interesate prin tablouri de bord interactive sau rapoarte rezumate.

Pasul final, "Imputarea datelor", abordează punctele de date lipsă sau nesigure prin completarea lacunelor folosind tehnici verificate precum interpolarea sau modelarea predictivă. Acest lucru asigură continuitatea și completitudinea seriilor temporale necesare pentru modelarea hidraulică și analiza DMA fiabilă.

Această progresie sistematică de la datele brute la rezultatele selectate oferă un cadru esențial pentru analiza fiabilă a datelor DMA și susține strategii eficiente de detectare a scurgerilor și gestionare a presiunii.

3.2 CORECȚIE CALIBRARE

Corecția calibrării reprezintă o etapă critică în fluxul de lucru de analiză a datelor pentru DMA-uri, situată între colectarea datelor brute și evaluarea incertitudinii. Acuratețea pașilor analitici ulteriori, inclusiv estimarea scurgerii, calculele bilanțului hidric și derivarea indicatorilor de performanță, depinde fundamental de calitatea măsurătorilor calibrate.

Debitmetrele electromagnetice și ultrasonice pot prezenta zero deplasare, erori de deschidere și sensibilitate la profilul vitezei. Contoarele ultrasonice cu timp de tranzit sunt deosebit de susceptibile la degradarea semnalului cauzată de depunerile pereților conductelor și la modificări ale parametrilor calității apei. Contoarele mecanice suferă uzură pe piesele mobile, ceea ce duce la subînmatriculare, în special la debite mici.

Senzorii de presiune prezintă deplasare zero, erori de deschidere, dependență de temperatură și probleme de stabilitate pe termen lung. Traductoarele piezorezistive demonstrează coeficienți de temperatură notabili care necesită compensare, în timp ce senzorii pe bază de membrană pot experimenta efecte de isterază în condiții de încărcare ciclică.

3.2.1 EVALUAREA PRE-CORECȚIE

Înainte de implementarea procedurilor de corecție, trebuie realizată o evaluare cuprinzătoare a infrastructurii de monitorizare. Această evaluare ar trebui să documenteze:

- ◆ Tipul contorului, producătorul, modelul și data instalării
- ◆ Date și certificate anterioare de calibrare
- ◆ Condiții de instalare și conformitate cu specificațiile producătorului
- ◆ Date istorice de performanță și probleme cunoscute
- ◆ Intervalul de funcționare relativ la capacitatea nominală

Echipamentele care funcționează constant în afara razelor recomandate sau care prezintă comportamente imprezvizibile pot necesita înlocuire, nu corectare.

3.2.2 CORECȚIE BAZATĂ PE CALIBRARE ÎN LABORATOR

Când sunt disponibile certificate de calibrare de laborator, funcțiile de corecție pot fi derivate direct din măsurători de referință certificate. Abordarea standard implică:

- ◆ **Model de corecție liniară:** Pentru echipamente care demonstrează erori predominant liniare. Acest model abordează atât eroarea de acoperire (coeficient a), cât și decalajul zero (coeficient b).
- ◆ **Corecție liniară pe bucăți:** Debitmetrele prezintă adesea caracteristici diferite de eroare de-a lungul intervalului lor de funcționare. O abordare pe bucăți împarte intervalul de măsurare în segmente, aplicând parametri de corecție distincti fiecăruia.
- ◆ **Corecție polinomială:** Corecțiile de ordin superior pot fi justificate pentru echipamente cu caracteristici neliniare pronunțate. Ordinea polinomială ar trebui determinată prin criterii de selecție statistică a modelului, echilibrând calitatea potrivirii cu riscul de supraajustare. Ordinele care depășesc trei sunt rareori justificate pentru cererile DMA.

3.2.3 CORECȚIE INTERPOLATĂ ÎN TIMP

Când mai multe evenimente de calibrare acoperă perioada de colectare a datelor, parametrii de corecție trebuie interpolați temporal. Interpolarea liniară oferă o aproximație rezonabilă pentru deriva graduală. Această abordare presupune o schimbare unidirecțională a erorii de măsurare a senzorului în timp între două evenimente de calibrare, care trebuie verificată prin analiză reziduală.

3.2.4 CORECȚIE BAZATĂ PE VERIFICAREA CÂMPULUI

În absența datelor de calibrare de laborator, metodele de verificare pe teren oferă căi alternative de corecție:

- ◆ **Verificare cu clemă pentru debit:** Debitmetrele ultrasonice portabile pot fi instalate temporar pentru a oferi măsurători de referință. Factorii de corecție sunt obținuți prin compararea citirilor simultane pe condiții de operare reprezentative care acoperă perioadele MNF până la perioadele de cerere maximă. Se recomandă un minim de 24 de ore de măsurare concomitentă pentru a surprinde variația diurnă.
- ◆ **Verificarea Manometru Portabil pentru Presiune:** Manopresometre portabile calibrate instalate la punctele de testare adiacente traductoare permanente permit compararea directă. Măsurătorile trebuie înregistrate în condiții de presiune stabile, evitând evenimentele tranzitorii. Mai multe puncte de verificare pe intervalul de presiune așteptat îmbunătățesc fiabilitatea corecției.
- ◆ **Verificarea modelului hidraulic:** Acolo unde există modele hidraulice calibrate, presiunile și debitele precise pot servi drept valori de referință. Această abordare necesită calibrarea modelului cu încredere ridicată și ar trebui rezervată situațiilor în care verificarea directă a măsurătorilor este nepractică. Corecțiile bazate pe model aduc o incertitudine mai mare și ar trebui documentate clar ca

atare.

3.2.5 COMPENSAREA TEMPERATURII

Traductoarele de presiune cu coeficienți de temperatură semnificativi necesită compensare explicită a temperaturii . Aceste ecuații de corecție sunt de obicei furnizate conform specificațiilor producătorului sau determinate prin calibrare controlată de temperatură.

3.2.6 CONSIDERAȚII PRIVIND IMPLEMENTAREA

Secvența aplicației și integritatea datelor

Corecțiile de calibrare trebuie aplicate sistematic datelor brute înainte de orice agregare sau analiză statistică. Secvența recomandată implică:

- ◆ Importarea datelor brute menținând rezoluția temporală completă
- ◆ Aplicarea funcțiilor de corecție specifice instrumentului
- ◆ Parametri și surse de corecție a documentelor
- ◆ Marcați punctele de date corectate pentru trasabilitate
- ◆ Procedați la evaluarea incertitudinii folosind valori corectate.

Datele brute originale ar trebui păstrate în formă arhivistivă pentru a permite reprocesarea dacă devin disponibile parametri de corecție îmbunătățiți.

Verificarea limitelor și constrângerile fizice

Valorile corectate trebuie evaluate în raport cu constrângerile fizice. Debitul trebuie să fie nenegativ (cu excepția cazurilor în care se așteaptă un debit bidirecțional), iar măsurătorile de presiune trebuie să rămână valori pozitive de indicator. Valorile corectate care încalcă constrângerile fizice indică fie eșec de măsurare, fie funcții de corecție inadecvate. Astfel de puncte de date ar trebui marcate pentru categorisirea calității, nu forțate să constrângă granițele.

Propagarea incertitudinii prin corecție

Corecția calibrării introduce incertitudine suplimentară care trebuie cuantificată și propagată prin analize ulterioare. Incertitudinea standard combinată a măsurătorilor corectate include contribuții din:

- ◆ Incertitudinea referinței de calibrare
- ◆ Incertitudinea potrivirii funcției de calibrare
- ◆ Incertitudinea interpolării temporale
- ◆ Incertitudinea rezoluției și digitalizării

3.2.7 IMPLEMENTARE SOFTWARE

Corecția automată a calibrării ar trebui implementată în cadrul fluxurilor de procesare a datelor, cu controlul de versiune și urmele de audit adecvate. Considerentele cheie privind proiectarea software-ului includ:

- ◆ **Tabele de căutare:** Parametrii de corecție organizați după identificator de contor, data calibrării și intervalele de date relevante permit recuperarea și aplicarea eficientă.
- ◆ **Gestionarea excepțiilor:** Gestionarea robustă a erorilor pentru datele de calibrare lipsă, extrapolarea dincolo de intervalele calibrate și anomaliile computaționale previn defecțiunile silențioase.
- ◆ **Verificări de validare:** Compararea automată a statisticilor pre- și post-corecție identifică corecții neașteptat de mari care pot indica erori de introducere a datelor sau atribuire incorectă a parametrilor.
- ◆ **Generarea documentației:** Generarea automată a rapoartelor de corecție care documentează corecțiile aplicate, sursele parametrilor și intervalele de date afectate facilitează auditul și asigurarea calității.

3.2.8 CAZURI SPECIALE ȘI PROVOCĂRI PRACTICE

Înlocuirea contorului și continuitatea datelor

Când echipamentele de monitorizare sunt înlocuite la mijlocul perioadei, trebuie aplicate funcții distincte de corecție segmentelor de date corespunzătoare fiecărui instrument. Schimbările bruște ale valorilor corectate la limitele de înlocuire trebuie anticipate și documentate. În cazurile în care înlocuirea este determinată de defecțiune a contorului, datele imediat anterioare înlocuirii pot necesita o invalidare retroactivă dacă performanța se deteriorează.

Precizie redusă a măsurării debitului

Debitmetrele prezintă de obicei o precizie degradată sub 10-20% din scara completă. Pentru DMA-urile în care MNF reprezintă o mică fracțiune din capacitatea contorului, trebuie luate în considerare următoarele:

- ◆ Instalarea aparatelor de măsurare cu dublă distanță sau a metrelor paralele cu diametru mic
- ◆ Cuantificarea incertitudinii sporită la debite scăzute
- ◆ Tehnici alternative de măsurare (inferență bazată pe presiune) în perioadele cu debit scăzut.

Încurcătură și degradare a performanței in situ

Incrustarea biologică, acumularea de solzi și depunerea sedimentelor provoacă degradare progresivă in situ care nu este capturată prin calibrarea în laborator. Divergența dintre datele corectate și verificarea independentă sugerează deriva legată de încurcare. Opțiunile remediale includ creșterea frecvenței de calibrare, instalarea sistemelor automate de curățare sau corecția statistică bazată pe modele de degradare a performanței.

Date moștenite și corecție retrospectivă

Aplicarea corecțiilor de calibrare la datele istorice prezintă provocări atunci când înregistrările de calibrare sunt incomplete sau absente. Abordările de corecție retrospectivă includ:

- ◆ Extrapolare din cea mai timpurie calibrare disponibilă folosind rate de derivă

presupuse

- Inferență din verificările bilanțului apei la nivel de sistem

- ◆ Aplicarea caracteristicilor tipice de derivă specificate de producător
- ◆ Recunoaștere explicită a statutului necorectat cu incertitudine crescută.

Practica conservatoare impune o documentare clară a presupunerilor și estimări ridicate ale incertitudinii pentru datele vechi corectate retroactiv.

3.2.9 ASIGURAREA CALITĂȚII ȘI VERIFICAREA

Proceduri de validare a corecțiilor

Validarea sistematică asigură implementarea corectă a corecțiilor de calibrare:

- ◆ **Verificarea bilanțului de masă:** Pentru DMA-uri cu mai multe contoare de intrare/ieșire, suma fluxurilor corectate ar trebui să asigure continuitatea. Dezechilibrele persistente care depășesc incertitudinea combinată a măsurării indică erori de corecție sau fluxuri necontabilizate.
- ◆ **Verificări de Consistență Temporală:** Seriile temporale corectate ar trebui să prezinte tipare diurne așteptate și să răspundă corespunzător la evenimentele cunoscute ale sistemului (funcționarea supapelor, pornirea pompelor, întreruperile principale). Modelele anormale după corecție sugerează erori de parametri.
- ◆ **Comparație între egali:** Atunci când mai mulți aparate similare funcționează în condiții comparabile, măsurătorile corectate ar trebui să demonstreze similaritate statistică. Valorile aberante justifică investigarea atribuirii parametrilor de corecție.

Cerințe de documentare

Documentația cuprinzătoare a procedurilor de corecție a calibrării trebuie să includă:

- ◆ Tipul funcției de corecție și parametri pentru fiecare instrument
- ◆ Surse de date de calibrare (numere de certificat, date de verificare pe teren)
- ◆ Intervale de aplicabilitate temporală pentru fiecare set de parametri
- ◆ Rezultate ale verificării versiunilor și implementării software-ului
- ◆ Limitări cunoscute și perioade crescute de incertitudine
- ◆ Personal responsabil și semnături de aprobare

Această documentație reprezintă o componentă esențială a asigurării calității și permite verificarea independentă a rezultatelor analitice.

3.3 CALCULUL INCERTITUDINII

Evaluarea incertitudinii este fundamentală pentru analiza riguroasă a datelor DMA. Oferă caracterizare cantitativă a intervalelor de încredere atât pentru datele măsurate, cât și pentru indicatorii de performanță derivați. După corecția calibrării în fluxul de lucru analitic, cuantificarea sistematică a incertitudinii permite luarea deciziilor informate prin distincția schimbărilor statistic semnificative de variabilitatea măsurătorilor, stabilirea limitelor de detecție pentru identificarea scurgerilor și susținerea prioritizării intervențiilor bazate pe risc.

Această secțiune oferă îndrumări pentru evaluarea și propagarea incertitudinilor pe parcursul întregului lanț de analize DMA, de la măsurători primare până la indicatori derivați complecși, inclusiv componente ale bilanțului apei, MNF, factori zi-noapte și indici ai stării infrastructurii.

Cadrul prezentat respectă metodologia Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) (JCGM, 2008), adaptată specific pentru aplicații de monitorizare a sistemelor de distribuție a apei. Aceasta pune accent pe considerentele practice de implementare pentru managementul operațional al DMA-urilor, menținând în același timp rigoarea statistică.

3.3.1 PRINCIPII FUNDAMENTALE ALE EVALUĂRII INCERTITUDINII

Evaluarea incertitudinii este o practică profesională esențială în gestionarea scurgerilor. Deoarece măsurătorile nu sunt niciodată perfecte și nu pot fi efectuate în condiții ideale, rezultatul măsurătorilor este doar o estimare cantitativă a valorii "adevărate". Pentru a asigura că rezultatele sunt fiabile și pot fi comparate cu valorile de referință sau standardele, acestea trebuie să fie însoțite de o indicație cantitativă a calității lor.

Procesul de evaluare urmează cadrul stabilit de standardele internaționale în Ghidul pentru Explicarea Incertitudinii în Măsurare (JCGM, 2008). Aceste standarde fac distincția între trei metode principale de evaluare:

- ◆ **Evaluarea de tip A:** Bazată pe analiza statistică a unei serii de măsurători repetate. Acesta caracterizează dispersia valorilor—adesea exprimată ca o abatere standard—pentru a cuantifica precizia măsurătorilor în condiții definite.
- ◆ **Evaluarea Tip B:** Bazată pe un model matematic de măsurare (Legea Propagării Incertitudinilor) care determină incertitudinea unui rezultat calculat pe baza incertitudinilor cunoscute ale mărimilor sale individuale de intrare. Această metodă utilizează informații anterioare din certificate de calibrare, expertiză sau literatură științifică.
- ◆ **Metoda Monte Carlo (MCM):** O abordare numerică care folosește simulări stocastice ale unui model de măsurare. Este deosebit de eficientă pentru modele neliniare sau atunci când se lucrează cu distribuții de probabilitate nesimetrice.
- ◆ **Incetitudinea extinsă** oferă un interval în care valoarea reală este așteptată să fie cu o încredere specificată, calculată ca incertitudinea standard combinată înmulțită cu un factor de acoperire (de obicei $k = 2$ pentru 95% încredere).

Evaluarea eficientă a incertitudinii necesită o distincție clară între incertitudinea senzorilor (erorile inerente dispozitivului și întregului lanț de măsurare) și incertitudinea măsurătorilor in situ (erori cauzate de condițiile câmpului, cum ar fi undele de suprafață sau turbulența). Prin cuantificarea acestor componente, operatorii pot stabili un interval de acoperire care reprezintă

intervalul în care valoarea reală este așteptată să se afle cu un anumit nivel de probabilitate, de obicei 95%.

Aplicarea cantitativă a acestor principii la instrumentația DMA — inclusiv ecuațiile specifice de incertitudine pentru debitmetrele electromagnetice, ultrasonice și mecanice, traductoare de presiune și integrarea temporală — este prezentată în Anexa C. Practicienii care efectuează bugete formale de incertitudine ar trebui să consulte Anexa C pentru ecuațiile relevante și exemplele elaborate. Secțiunile care urmează prezintă cadrul operațional pentru gestionarea și comunicarea incertitudinii la nivelul DMA.

3.3.2 CADRU PRACTIC DE IMPLEMENTARE

Incertitudine privind dezvoltarea bugetară

Un buget sistematic de incertitudine enumeră toate sursele semnificative de incertitudine, cuantifică magnitudinea lor și documentează metodologia de combinare. Pentru aplicațiile DMA, bugetele de incertitudine trebuie să abordeze:

- ◆ **Incertitudinea măsurării:** Intrinsecă instrumentației și achiziției de date
- ◆ **Incertitudinea calibrării:** Rezultat din standardele de referință și procedurile de corectare
- ◆ **Incertitudinea instalării:** Din cauza condițiilor de montare neideale și a perturbărilor de curgere
- ◆ **Incertitudinea temporală:** Din intervalele de eșantionare și interpolare
- ◆ **Incertitudinea modelului:** Inerent relațiilor și presupunerilor empirice
- ◆ **Incertitudine operațională:** Legat de variabilitatea stării sistemului și definiția condiției la limită.

Practicianul ar trebui să ia în considerare impactul general pe care vârsta îl are asupra factorilor de incertitudine din buget. Vârsta crescută a infrastructurii, instrumentelor și dispozitivelor de calcul poate afecta incertitudinea de măsurare / calibrare / instalare și operațională. Într-un grup de DMA-uri, unele efecte de incertitudine vor fi randomizate, dar odată cu vârsta există, de obicei, dar nu întotdeauna, o tendință spre degradare în metrologie și fluxul de lucru al datelor, ceea ce poate duce la subînregistrare sistematică a volumului, cunoscută în general sub denumirea de subînregistrare a contorului de pierdere aparentă.

Dezvoltarea sistematică a bugetului pentru incertitudine urmează un proces structurat:

Pasul 1: Identificarea componentelor: Enumerați toate componentele de măsurare, model și operaționale care contribuie la cantitatea finală calculată.

Pasul 2: Cuantificarea incertitudinii: Pentru fiecare componentă, se atribuie incertitudine de tip A (statistică) sau tip B (sistematică) pe baza surselor de informații disponibile.

Pasul 3: Atribuirea distribuției probabilităților: Caracterizați fiecare componentă a incertitudinii cu distribuția adecvată a probabilității (normală, dreptunghiulară, triunghiulară) bazată pe fizica de bază și calitatea informației.

Pasul 4: Analiza sensibilității: Determinați coeficienții de sensibilitate care leagă incertitudinile componentelor de incertitudinea combinată a ieșirii prin derivate analitice sau perturbații numerice.

Pasul 5: Combinare și raportare: Combinați incertitudinile componentelor conform metodologiei GUM și raportați ca incertitudini standard și extinse.

Deși exemplul de mai jos ilustrează estimarea bugetului de incertitudine pentru un debitmetru DMA, Anexa C a acestui document oferă o evaluare mai detaliată a bugetelor de incertitudine asociate datelor primare măsurate (debitmetre electromagnetice, ultrasonice și mecanice, și măsurători de presiune), precum și cu parametri derivați precum calculele bilanțului hidric și metodele de estimare MNF.

Exemplu lucrat: Buget de incertitudine pentru un debitmetru de intrare DMA

Următorul exemplu ilustrează procesul în cinci pași aplicat unui singur debitmetru electromagnetic la o intrare DMA, care funcționează la un debit măsurat de $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$ în perioada minimă de debit nocturn. Contorul are o precizie de precizie a producătorului de $\pm 0,5\%$ din citire (la $k = 2$, 95% încredere), o specificație de stabilitate zero de 1 mm/s echivalent cu viteză, un diametru de țevă de DN150 și a fost instalat acum 18 luni în condiții parțial conforme (lungime dreaptă insuficientă în amonte).

Pasul 1 — Identificarea componentelor. Sunt identificate patru surse de incertitudine: (i) acuratețea contorului, (ii) deriva de stabilitate zero la debit scăzut, (iii) efectele instalării din montarea neideală și (iv) incertitudinea calibrării din ultimul certificat de verificare.

Pasul 2 — Cuantificarea incertitudinii. Fiecare componentă este clasificată și cuantificată:

Tabelul 3-1 Cuantificarea incertitudinii

Componentă	Tip	Sursă	Valoare
Acuratețea metrului	B	Fișa tehnică a producătorului	$\pm 0,5\%$ din Q la $k = 2$
Stabilitate zero	B	Fișa tehnică a producătorului	Echivalentul vitezei de 1 mm/s
Efectele instalării	B	Judecata inginerescă	$1,5\%$ din Q (parțial conform)
Certificat de calibrare	B	Ultima înregistrare de verificare	$\pm 0,3\%$ din Q la $k = 2$

Pentru ecuațiile folosite pentru a converti aceste specificații în valori standard de incertitudine (u), consultați Anexa C.

Pasul 3 — Temă despre distribuția probabilităților. Precizia contorului și incertitudinile certificatului de calibrare sunt presupuse distribuite normal (divizor = 2, deoarece $k = 2$ este

menționat). Stabilitate zero

iar efectele de instalare sunt presupuse distribuții dreptunghiulare (divizor = $\sqrt{3}$), reflectând variații limitate, dar necaracterizate.

Convertind la incertitudini standard la $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$:

Tabelul 3-2 Incertitudinea standard

Componentă	Incertitudinea standard u (m^3/h)
Acuratețea metrului	$0,005 \times 25 / 2 = \mathbf{0,063}$
Stabilitate zero	$1 \text{ mm/s} \times 0,01767 \text{ m}^2 / \sqrt{3} = \mathbf{0,010}$
Efectele instalării	$0,015 \times 25 / \sqrt{3} = \mathbf{0,217}$
Certificat de calibrare	$0,003 \times 25 / 2 = \mathbf{0,038}$

Pasul 4 — Analiza sensibilității. Toate cele patru componente alimentează direct rezultatul măsurării debitului cu un coeficient de sensibilitate de 1. Efectele de instalare domină, contribuind cu aproximativ 89% din variația combinată. Aceasta identifică montarea neideală ca țintă principală pentru reducerea incertitudinii.

Pasul 5 — Combinare și raportare. Presupunând independența dintre componente, incertitudinea standard combinată este:

$$u_c = \sqrt{(0,063^2 + 0,010^2 + 0,217^2 + 0,038^2)} = \mathbf{0,226 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Incertitudinea extinsă la 95% încredere ($k = 2$) este:

$$U = 2 \times 0,226 = \mathbf{0,45 \text{ m}^3/\text{h}}, \text{ echivalent cu } \mathbf{\pm 1,8\% \text{ din debitul măsurat}}$$

Aceasta înseamnă că un MNF raportat de $25,0 \text{ m}^3/\text{h}$ are un interval de încredere de aproximativ 95%

24,6 până la $25,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Orice schimbare aparentă a MNF-ului mai mică de $0,45 \text{ m}^3/\text{h}$ nu poate fi distinsă doar de incertitudinea măsurătorii și nu trebuie interpretată ca o schimbare operațională reală fără dovezi coroborative.

Sursa dominantă de incertitudine — efectele instalării — ar trebui abordată mai întâi. Corectarea lungimii drepte în amonte pentru a respecta cerințele producătorului ar putea reduce incertitudinea instalării de la 1,5% la aproximativ 0,3% din citire, reducând incertitudinea extinsă la aproximativ $\pm 0,5\%$ — o îmbunătățire de patru ori realizabilă fără a schimba contorul propriu-zis.

Strategii de reducere a incertitudinii

Intervențiile strategice vizează contributorii dominanți la incertitudine identificați prin analiza sensibilității:

- ◆ **Îmbunătățirea sistemului de măsurare:** Modernizarea la instrumentație cu precizie mai mare, îmbunătățirea conformității instalării și implementarea măsurătorilor redundante reduc incertitudinea primară.
- ◆ **Optimizarea frecvenței de calibrare:** Calibrarea mai frecventă reduce incertitudinea derivației temporale, dar crește costurile operaționale. Intervalele optime echilibrează reducerea incertitudinii cu constrângerile de resurse.

- ◆ **Îmbunătățirea rezoluției datelor:** Frecvențe mai ridicate de eșantionare reduc incertitudinile de integrare și interpolare, dar cresc cerințele de stocare și procesare a datelor.
- ◆ **Calitatea datelor infrastructurii:** Auditurile sistematice GIS, campaniile de verificare pe teren și îmbunătățirea registrelor de active reduc incertitudinile de intrare a modelelor.
- ◆ **Rafinarea estimării consumului:** Extinderea sondajelor privind consumul de noapte, implementarea AMR/AMI și îmbunătățirea clasificării clienților reduc incertitudinea consumului autorizat.

Evaluarea Incertitudinii Adaptive

Caracteristicile incertitudinii evoluează odată cu condițiile sistemului, necesitând strategii de evaluare adaptivă:

- ◆ **Funcții de incertitudine dependente de flux:** Implementați tabele de căutare sau funcții continue care leagă incertitudinea măsurării de punctul de funcționare, ajustând automat estimările pe baza condițiilor în timp real.
- ◆ **Incertitudine variabilă în timp:** Urmăriți vârsta calibrării, efectele sezoniere ale temperaturii și degradarea cunoscută a echipamentelor pentru a actualiza continuu estimările incertitudinii.
- ◆ **Reevaluare declanșată de condiție:** Evenimentele semnificative ale sistemului (înlocuirea contorului, schimbări de regim de presiune, modernizări ale infrastructurii) declanșează o reevaluare cuprinzătoare a incertitudinii.

Comunicarea incertitudinii și sprijinul decizional

Comunicarea eficientă a incertitudinii către factorii de decizie necesită vizualizare și interpretare adecvată:

- ◆ **Intervale de încredere:** Prezintă indicatori cheie de performanță cu intervale de încredere explicite la niveluri standard (90%, 95%, 99%).
- ◆ **Benzi de incertitudine pe serii temporale:** Prezentarea grafică a datelor de debit și presiune cu învelișuri de incertitudine umbrite permite evaluarea vizuală a încrederii în măsurare.
- ◆ **Limite de detecție:** Stabilirea modificărilor minime detectabile pentru indicatorii de scurgere, anomaliile de consum și tendințele de performanță bazate pe incertitudini combinate.
- ◆ **Clasificare bazată pe risc:** Categorisește performanța DMA care ține cont de incertitudine, distingând concluziile cu încredere ridicată de interpretările incerte care necesită investigații suplimentare.

3.3.3 ASIGURAREA CALITĂȚII ȘI DOCUMENTAȚIE

Documentația bugetului pentru incertitudine

Documentația cuprinzătoare a incertitudinii include:

- ◆ **Tabele componentelor:** Prezentare tabelară a tuturor surselor de incertitudine, magnitudinilor, distribuțiilor de probabilitate și metodologiei de combinație.
- ◆ **Rezultatele analizei de sensibilitate:** Identificarea cantitativă a contributorilor

dominanți la incertitudine care ghidează prioritățile de îmbunătățire.

- ◆ **Fișe de calcul:** Calcule detaliate ale propagării incertitudinii care permit verificarea independentă.
- ◆ **Registrul de Ipoteze:** Documentarea explicită a presupunerilor simplificatoare, justificare și impact potențial asupra rezultatelor.
- ◆ **Istoricul actualizărilor:** Înregistrare controlată de versiune a revizuirilor bugetare a incertitudinii, reflectând modificări ale echipamentelor, îmbunătățiri metodologice și informații actualizate.

Verificare independentă

Asigurarea calității necesită verificarea independentă a evaluărilor incertitudinii:

- ◆ **Calcul de verificare încrucișată:** Recalcul independent folosind metode alternative sau instrumente software.
- ◆ **Comparații de repere:** Comparație între estimările incertitudinii și cele publicate valori pentru sisteme și aplicații similare.
- ◆ **Recenzie colegială:** Revizuire de experți a metodologiei, presupunerilor și calculului realizată de personal, independent de analiza inițială.
- ◆ **Validarea terenului:** Acolo unde este posibil, compararea predicțiilor de incertitudine cu măsurători repetate sau campanii standard de referință.

Procesul de Îmbunătățire Continuă

Metodologiile de evaluare a incertitudinii evoluează prin învățare sistematică:

- ◆ **Analiza reziduurilor:** Compararea incertitudinilor prezise cu variația observată în măsurători repetate sau verificări încrucișate identifică subestimarea sau supraestimarea sistematică.
- ◆ **Investigarea cauzei rădăcină:** Incertitudini sau discrepante neașteptat de mari declanșează investigarea cauzelor subiacente și a potențialelor erori sistematice.
- ◆ **Actualizări metodologice:** Integrarea unei înțelegeri îmbunătățite, a noilor tehnologii de măsurare și a lecțiilor învățate în procedurile actualizate de evaluare a incertitudinii.
- ◆ **Managementul cunoștințelor:** Capturarea și diseminarea sistematică a informațiilor legate de incertitudine între unități organizaționale și proiecte.

3.4 VALIDAREA DATELOR

Validarea datelor determină dacă datele disponibile îndeplinesc obiectivele predefinite de calitate pentru utilizarea lor intenționată. Atribuie un indicator de calitate fiecărui punct de date folosind criterii obiective, reflectând atât corectitudinea, cât și relevanța acestuia. Deși corectitudinea se bazează pe sensul fizic, calitatea datelor este influențată și de potrivirea lor pentru aplicația specifică.

Pentru DMA-uri, scopul principal al validării datelor este de a asigura că înregistrările de debit și presiune sunt fiabile, consistente și reprezintă cu acuratețe comportamentul hidraulic real. Înregistrările fiabile sunt esențiale pentru decizii operaționale solide, analize istorice și modelare. Erorile, inconsistențele sau lacunele pot duce la estimări incorecte ale scurgerilor, inspecții inutile și alegeri operaționale nepotrivite în ceea ce privește supapele, pompele și gestionarea presiunii.

Anexa F oferă exemple ale celor mai frecvente probleme întâlnite în analiza datelor DMA de către utilitățile de apă.

3.4.1 VERIFICĂRI DE BAZĂ

Testul de plauzibilitate

Testele de plauzibilitate sunt proceduri care verifică dacă datele sunt logice și rezonabile. Ei se concentrează pe:

- ◆ Interval fizic: Asigură că valorile sunt fizic posibile, de exemplu presiunea în limitele operaționale, doar flux pozitiv și semnalează citiri foarte scăzute sau zero ale debitului pentru revizuire.
- ◆ Intervalul de măsurare al sensorului: Verifică că datele se află în intervalul de măsurare al sensorului.
- ◆ Interval de calibrare: Acest test verifică că fiecare măsurătoare se încadrează în intervalul calibrat al sensorului.
- ◆ Gradientele maxime: Detectează schimbări bruște în date, cum ar fi variații excesive pe o perioadă scurtă.

Aceste teste ajută la identificarea datelor eronate și la asigurarea fiabilității acestora pentru luarea deciziilor. De exemplu:

- ◆ **Raza fizică**
Debit > 0 (dacă contorul de alimentare DMA), peste minimul realist și sub maximul nerealist (de exemplu, debitul maxim $<$ contor sau debitul de explozie); Presiunea în limitele operaționale ale sistemului (de exemplu, 0 până la 80 mH₂O).
- ◆ **Raza de măsurare a senzorilor**
Presiunea înregistrată de un senzor de presiune are un interval de măsurare între 0 și 100 mH₂O. Dacă o valoare înregistrată este mai mică decât 0 (adică negativă) sau mai mare de 100 mH₂O, atunci această valoare este marcată ca invalidă.
- ◆ **Intervalul de calibrare**
În exemplul anterior, senzorul a fost calibrat de la 0,3 mcw la 100 mcw. Dacă valorile înregistrate sunt în afara acestor limite, atunci această valoare nu este o dată bună pentru acest test.
- ◆ **Gradientele maxime**
Stabilește praguri de variație între intervale. Exemplu: $\Delta Q > 20 \text{ m}^3/\text{h}$ în 5 minute, semnalizați ca suspect.

Consistență internă

Consistența internă se referă la alinierea și coerența datelor conexe în cadrul unui sistem. Asigură că măsurătorile, cum ar fi cele provenite de la senzori redundanți sau parametri hidraulici,

sunt logic consistente între ele. Acest lucru ajută la verificarea fiabilității datelor și reduce erorile în luarea deciziilor.

Redundanța senzorilor

Dacă doi debitometre sunt instalate paralel, citirile pot fi comparate încrucișat pentru a identifica valorile exterioare. (Exemplu de prag recomandat: diferență $\leq 5\%$).

Relații hidraulice

Comportamentul dinamic al sistemului de distribuție a apei ar trebui să fie consecvent: în condiții standard, dacă consumul de apă crește, debitul crește și presiunea scade.

- ◆ Presiune mare + debit scăzut susținut → Posibilă scurgere.
- ◆ Cădere de presiune + creștere a debitului → deschiderea supapei sau spargerea țevii.
- ◆ Debitul măsurat la orice ieșire DMA (către un DMA vecin) nu poate depăși totalul Intrarea DMA.

Consistența marcării temporale

Datele de măsurare poartă întotdeauna o referință temporală. Dacă datele de măsurare sunt înregistrate la intervale regulate de timp (de exemplu, fiecare 15 minute), distanța dintre două marcaje temporale consecutive este egală. Seriile temporale neregulate prezintă goluri neașteptate sau intrări duplicate care împart același indice temporal.

Acuratețea datelor

O măsurătoare este considerată suficient de precisă pentru utilizare atunci când incertitudinea sa standard se încadrează într-un prag adecvat pentru aplicația intenționată. Dacă acest prag este depășit, punctul de date ar trebui marcat pentru revizuire sau respins, în funcție de severitatea depășirii și sensibilitatea analizei downstream.

Pragurile de acuratețe nu sunt universale — ele depind de scopul pentru care vor fi folosite datele. Pentru analiza MNF, unde variațiile mici ale debitului sunt semnificative operațional, sunt necesare praguri mai stricte decât pentru totalizarea zilnică a volumului. Ca orientare generală:

- ◆ Măsurători de debit utilizate pentru analiza MNF: incertitudinea standard nu trebuie să depășească $\pm 2-5\%$ din valoarea măsurată.
- ◆ Măsurători de presiune folosite pentru calculele AZP sau N1: incertitudinea standard nu ar trebui să depășească $\pm 0,5\%$ din scara completă.

Aceste valori sunt indicative. Fiecare utilitate ar trebui să-și definească propriile praguri bazate pe infrastructura sa metrologică, sensibilitatea indicatorilor de scurgere și orice cerințe de reglementare aplicabile.

Valorile standard de incertitudine necesare pentru aplicarea acestui criteriu sunt derivate folosind cadrul bazat pe GUM prezentat în Secțiunea 3.3. Punctele de date pentru care incertitudinea nu poate fi cuantificată — de exemplu, din cauza absenței înregistrărilor de calibrare — ar trebui tratate ca potențial nesigure și marcate corespunzător, așa cum este descris în Secțiunea 3.2.9 Asigurarea și Verificarea Calității.

Auditabilitatea datelor

Pentru a asigura integritatea datelor într-un proiect de monitorizare, este esențial un cadru pentru auditabilitate. Acest lucru permite urmărirea întregului parcurs al unei valori măsurate și înțelegerea oricăror modificări suferite, cu o atenție deosebită la evenimentele de calibrare și mentenanță. Datele înregistrate în timpul acestor evenimente ar trebui tratate ca fiind potențial nesigure. Este, de asemenea, important să se verifice dacă calibrarea și întreținerea au fost efectuate la frecvențele specificate în protocoalele utilității.

Completitudinea datelor

Completitudinea se referă la cât de complet și constant sunt înregistrate datele, asigurând că toate valorile așteptate sunt prezente, cu goluri minime sau lipsă de înregistrări. Acest lucru este esențial pentru menținerea integrității datelor, ceea ce este crucial pentru o analiză precisă, predicții fiabile și luarea deciziilor solide. În practică, completitudinea poate fi evaluată prin evaluarea acoperirii înregistrărilor în timp.

De exemplu, cel puțin 95% din datele cu intervale așteptate ar trebui înregistrate în fiecare lună. Pentru a monitoriza eficient completitudinea datelor, formatarea condiționată și vizualizarea și hărțile termice prietenoase cu utilizatorul pot fi folosite pentru a evidenția lacunele sau pierderile recurente de date, ajutând la identificarea tiparelor și zonelor care necesită atenție. Asigurarea completității ridicate a datelor minimizează riscul de inexactități în analiza sistemului.

3.4.2 METODE CLASICE APLICATE**Detectarea valorilor aberante**

Deteția aberelor este un proces critic pentru identificarea punctelor de date care se abat semnificativ de la valorile așteptate. Aceste valori aberante pot indica erori de măsurare, senzori defectuoși sau evenimente neobișnuite ale sistemului, toate acestea necesitând investigații suplimentare.

Metode comune pentru detectarea aberanților includ (Barnett și Lewis, 1996, Iglewicz și Hoaglin, 1993, Choi, 1992):

- ◆ Testul Z sau Testul Grubbs: Aceste teste statistice sunt folosite pentru a detecta valori semnificativ diferite de medie. De exemplu, dacă o valoare a debitului pe timp de noapte depășește trei abateri standard față de media istorică, aceasta este marcată ca "suspectă". Acest lucru ajută la identificarea valorilor care sunt statistic neobișnuite și care pot necesita verificare sau corectare.
- ◆ Modele ARMA (Medie Mobilă Auto-Regresivă) sau LSTM (Memorie Lungă și Scurtă): Aceste modele sunt deosebit de utile pentru analizarea seriilor temporale. Modelele ARMA prezic valorile folosind observațiile anterioare (AR) și erorile de predicție anterioare (MA), permițând recunoașterea tiparelor în datele din serii temporale. Valorile aberante sunt identificate după mărimea reziduurilor — discrepanțele dintre valorile observate și cele prezise.
- ◆ Rețelele LSTM sunt o abordare de învățare profundă, antrenată fie pentru a reconstrui, fie pentru a prezice date normale de serii temporale, surprinzând dependențe temporale pe termen lung. Date

punctele sunt marcate ca anomalii atunci când valorile reale se abat semnificativ de la valorile precise sau când eroarea de reconstrucție depășește un prag predefinit. Deși o abatere de 15% este uneori folosită ca euristică specifică domeniului, monitorizarea avansată a distribuției apei folosește adesea praguri adaptive — cum ar fi eroarea maximă de reconstrucție observată în timpul unei perioade de antrenament suficient de curate — pentru a ține cont de variabilitatea hidraulică naturală și zgomotul inerent datelor despre debit și presiune. Acest lucru face ca LSTM să fie deosebit de eficient în sisteme complexe și dinamice, unde metodele tradiționale pot rata tendințe subtile.

Prin utilizarea acestor metode, analiștii de date pot identifica și aborda problemele potențiale din timp, asigurând menținerea calității datelor și remedierea promptă a eventualelor anomalii operaționale.

Detectarea deplasării sau a tendințelor nedorite

Deplasarea sau detecția tendințelor nedorite ajută la identificarea schimbărilor treptate în date care pot indica probleme ale senzorilor sau factori externi, afectând acuratețea măsurătorilor.

Regresia liniară este folosită pentru a detecta schimbări lente și constante, cum ar fi deriva senzorilor cauzată de acumularea sau uzura sedimentelor. Se potrivește pe o linie dreaptă cu datele și identifică abaterile de la tiparele așteptate.

Coeficientul lui Spearman evaluează relațiile neliniare, cum ar fi presiunea vs. temperatură sau debitul vs. consum, prin măsurarea corelațiilor monotone. Dacă aceste relații se deteriorează în timp, acest lucru semnalează potențiale probleme de senzori sau sistem care ar trebui investigate pentru a menține acuratețea datelor.

3.5 CLASIFICAREA CALITĂȚII

Managementul calității datelor în contextul controlului scurgerilor este un proces critic, orientat spre obiective, care asigură că măsurătorile sunt potrivite pentru scopul lor inițial. Datele brute obținute din DMA-uri sunt rareori impecabile; Acestea sunt frecvent supuse unor erori sistematice și aleatorii cauzate de defecțiuni instrumentale, erori umane, interferențe în mediu sau întreruperi ale energiei și comunicațiilor. Obiectivul principal al managementului calității datelor este de a atribui un indicator de calitate fiabil fiecărui punct de date prin validare sistematică. Acest lucru previne deciziile înșelătoare bazate pe informații eronate și ajută la menținerea integrității întregului sistem de monitorizare.

Clasificarea calității datelor este esențială pentru a asigura că rezultatele analitice sunt precise și fiabile. Categorisirea sistematică bazată pe fiabilitate permite operatorilor să prioritizeze acțiunile corective pentru defecțiuni ale senzorilor sau inconsistențe fizice.

Tabelul 3-3 ilustrează un cadru standard pentru etichetarea datelor pentru a indica validitatea tehnică și aptitudinea lor pentru utilizare și acțiunile sugerate.

Tabelul 3-3 Exemplu de clasificare a calității datelor

Categorie	Descriere	A acțiune sugerată
G	Bine	Data Point a trecut toate testele de validare
U	Nesigur/Nepotrivit (invalid rază fizică, defecțiune a senzorului)	Punctul de date este fizic invalid sau este definibil eronată, astfel încât nu poate fi folosită.
D	Puțin probabil (valori aberante fără Clar explicație)	Data Point este validă fizic, dar într-o oarecare măsură discutabil dacă este evaluat într-un context mai larg.
I	Imputat (umplut cu Model sau interpolare) Etichetă așa cum este imputată	Poate înlocuit cu date reale de senzori odată ce sunt disponibile (de exemplu, după întreruperea LPWAN, logger-ul trimite date ulterior
M	Lipsă	Punct de date lipsă

3.6 VIZUALIZAREA CALITĂȚII DATELOR

Gestionarea eficientă a datelor se bazează pe vizualizarea în timp real sau frecventă a indicatorilor de calitate a datelor. Utilizarea hărților termice și a tablourilor de bord interactive clasificate de un sistem semafoare, permite o evaluare rapidă a performanței senzorilor, fiabilității tehnice și aptitudinii pentru utilizare. Această vizualizare sistematică facilitează detectarea timpurie a defecțiunilor persistente și a tendințelor anormale din cadrul rețelei de monitorizare.

Indicatorii cheie includ (Tabelul 3-4)

- ◆ **% Date valide:** Datele totale utilizabile peste numărul așteptat de înregistrări.
- ◆ **Procentaj atipice pe zi:** Ajută la identificarea interferențelor intermitente sau a echipamentelor defecte.
- ◆ **Derivă săptămânală/lunară:** Urmărește schimbările în performanța senzorilor în timp, în raport cu jurnalele de mentenanță și calibrare.

Tabelul 3-4 Exemplu de vizualizare a calității datelor

Indicator	Semaforul	Praguri
% date valide	● >95%, ● 80–95%, ● <80%	Pentru a alerta defecțiunile persistente
Procentaj atipice pe zi	● <1, ● 1–5, ● >5	
Deriva săptămânală	● Stabil, ● Ușor, ● Critic	

3.7 IMPUTAREA DATELOR

Imputarea datelor menține continuitatea și fiabilitatea seturilor de date ale seriilor temporale prin estimarea măsurătorilor lipsă sau invalide.

- ◆ Pentru intervale scurte (<2 ore): Se aplică interpolarea liniară sau metoda mediei mobile pentru a estima valorile lipsă pe baza punctelor de date din jur. Aceste abordări sunt simple, dar eficiente pentru lacunele mici de date (Lepot et al., 2017).
- ◆ Pentru intervale lungi: Folosiți tehnici mai avansate, cum ar fi simulările hidraulice, modelele istorice de regresie sau modelele predictive bazate pe învățare automată

(de exemplu, ARIMA, LSTM) pentru a reconstrui valori plauzibile (Pratama et al., 2016; Wongoutong, 2020).

Pentru a asigura transparența datelor, este esențial să se mențină două seturi de date distincte: seria originală "brută" care conține goluri și seria "gap-fillet" cu valori imputate. Toate intrările procesate trebuie să fie etichetate explicit ca "imputate" pentru a le distinge de măsurătorile directe.



Înregistrarea temporară a presiunii în interiorul unui DMA în Emiratele Arabe Unite

REFERINȚE

Barnett V. & Lewis T. (1996). *Outliers in Statistical Data*, ediția a 3-a. John Wiley & Sons, Chichester (Marea Britanie), 604 p. ISBN 978-0471930945.

Choi B. (1992). *Identificarea modelului ARMA*. Springer, New York (SUA), 212 p. ISBN 978-1461397472.

Iglewicz B. & Hoaglin, D. C. (1993). *Cum să detectezi și să gestionezi excepțiile*. Societatea Americană pentru Controlul Calității, Milwaukee (SUA), 87 p. ISBN 9780873892476.

Comitetul Comun pentru Ghizi în Metrologie. (2008). *Evaluarea datelor de măsurare — Ghid pentru exprimarea incertitudinii în măsurare* (JCGM 100:2008). Bureau International des Poids et Neures. http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf

Lepot M., Aubin J.-B. & Clemens F. H. L. R. (2017). *Interpolarea în serii temporale: o prezentare introductivă a metodelor existente, a criteriilor lor de performanță și a evaluării incertitudinii*. Water, 9(10), 796, 20 p. doi: 10.3390/w9100796.

Pratama I., Erna Permansari A., Ardiyanto I. & Indrayani R. (2016). O revizuire a metodelor de gestionare a valorilor lipsă pe datele din serii temporale. *Lucrările Conferinței Internaționale 2016 privind Sistemele și Inovația în Tehnologia Informației (ICITSI)*, 24–27 octombrie, Bandung, Bali (Indonezia), 1–6. doi: 10.1109/ICITSI.2016.7858189.

Wongoutong C. (2020). *Imputare pentru valori consecutive lipsă în date de serie temporală nestaționare*. Progrese și aplicații în statistică, 64(1), 87–102. doi: 10.17654/AS064010087.

4 ESTIMAREA NIVELURILOR DE SCURGERE A DMA

A. Bojko¹, T. Crowder², I. Dundovic³, K. Høgh⁴, T. Kressin⁵, M. Misirdali⁶, T. Nergaard⁷, J. Sepulveda⁸, G. Waley⁹

¹ independent, Guyana Franceză; ²Crowder Consulting, Marea Britanie, ³ Hidromodel, Croația; ⁴Niras A/S, Danemarca; ⁵Gutermann, Germania; ⁶Independent, Türkiye/EAU; ⁷Independent, Danemarca; ⁸Independent, Columbia; ⁹Stantec, Marea Britanie și Irlanda.

REZUMAT

Acest capitol oferă un ghid detaliat pentru estimarea nivelurilor de scurgere în zonele cu contoare de district (DMA), un pas esențial în gestionarea apei non-profit (NRW) și în îmbunătățirea eficienței operaționale. Începe prin a sublinia importanța datelor corecte și validate privind fluxul, inclusiv rezoluția recomandată, durata minimă a datelor și înregistrările pe termen lung pentru analiza tendințelor. Parametri cheie precum Debitul Net, Debitul Mediu, MNF și modelele de curgere sunt introduși ca elemente fundamentale pentru evaluarea scurgerilor. Sunt prezentate metode existente de estimare a nivelurilor de scurgere DMA, inclusiv o descriere detaliată a Metodei Raportului, Bilanțului Apei și Debitului Minim de Noapte, precum aplicabilitatea lor pentru cazuri speciale, cum ar fi DMA cu rezervoare de stocare pentru clienți, alimentarea intermitentă și controlul presiunii.

În plus, Anexa D descrie aplicarea modelării hidraulice pentru validarea și localizarea scurgerilor în DMA, iar Anexa E conține informații detaliate despre analiza presiunii DMA și aplicarea acesteia pentru calcularea nivelurilor de scurgere DMA.



4.1 ÎNȚELEGEREA DATELOR DE FLUX DMA

Calitatea, validarea și acuratețea datelor sunt condiții prealabile pentru orice analiză a scurgerilor și sunt abordate în capitolele 2 și respectiv 3. Această secțiune se concentrează pe ceea ce trebuie să înțeleagă un practician despre tiparele de curgere vizibile în datele DMA: ce determină forma lor, cum se modifică acea formă odată cu configurația alimentației și regimul de presiune și cum să confirme că traseul de curgere reflectă în mod fiabil condițiile din interiorul DMA înainte de aplicarea oricărei metode de estimare.

4.1.1 VALIDAREA LIMITELOR DMA

Confirmarea integrității unei granițe DMA este o condiție prealabilă pentru o analiză fiabilă a scurgerilor. O limită bine definită prezintă o interacțiune hidraulică minimă cu DMA-urile adiacente, ceea ce înseamnă că datele de debit și presiune înregistrate la contoarele de intrare reflectă cu acuratețe condițiile din interiorul DMA, nu influențe externe. Atunci când integritatea limitelor este compromisă — prin scurgeri sau supapele parțial deschise, conexiuni neautorizate sau inexactități ale contorului — estimările de scurgere vor fi distorsionate indiferent de metoda aplicată.

Indicatori de graniță bazați pe modele

Tipare neobișnuite de presiune sau curgere sunt adesea primul semn al unei breșe de limită. Vârfurile sau scăderile bruște care nu pot fi atribuite evenimentelor cunoscute, cum ar fi exploziile sau operațiunile supapelor, ar trebui tratate ca indicatori potențiali de integritate. În timp, monitorizarea acestor tipare și setarea alarmelor bazate pe praguri permite detectarea sistematică a breșelor de securitate, nu prin inspecție manuală. Coroboarea semnalului de debit și presiune cu alte date operaționale — reclamații de presiune, înregistrări de reparații, istoricul spargerilor și observații privind calitatea apei — ajută la restrângerea locației unei posibile breșe.

Analiza diferenței de presiune

O supapă de limită funcțională menține o diferență măsurabilă de presiune între cele două părți ale sale. Atunci când modelele de presiune de pe ambele părți ale unei supape de limită sunt identice sau strâns corelate, supapa poate fi defectă sau parțial deschisă, permițând un flux nemonitorizat peste limită. În schimb, o corelație scăzută între datele de presiune și debit în DMA-urile adiacente indică o separare efectivă. Compararea sistematică a profilurilor de presiune diurne între supape de frontieră este, prin urmare, unul dintre cele mai de încredere instrumente de diagnostic pentru validarea limitelor.

Implementarea logger-ului pentru detectarea breșelor

Acolo unde analiza tiparelor sugerează o posibilă breșă, utilizarea țintită a compresoarelor de presiune, debit și acustică o poate localiza cu precizie. Registratorii de presiune identifică fluctuațiile localizate consistente cu debitul nemonitorizat; Registratorii de flux urmăresc modele neregulate de mișcare în cadrul DMA; Registratorii acustici detectează semnătura sonoră caracteristică a fluxului care trece printr-o supapă compromisă. Triangularea datelor din mai multe tipuri de loggers îmbunătățește acuratețea localizării breșei și asigură că acțiunile corective sunt direcționate în punctul corect al rețelei.

Metode analitice avansate

Modelele de regresie pot valida dacă diferențele de presiune observate peste valopele de frontieră sunt consistente cu tiparele de izolare așteptate, semnalând anomalii statistice pe care inspecția vizuală le-ar putea rata. Acolo unde există seturi de date mai mari, tehnicile de învățare automată extind această capacitate prin identificarea unor tipare complexe, multivariabile, indicative de compromisul granițelor. Aceste metode sunt deosebit de valoroase în rețelele mari, unde revizuirea manuală a limitelor individuale ale DMA este nepractică.

4.1.2 MODELUL DE CURGERE DIURNĂ ȘI COMPONENTELE SALE

Debitul măsurat la o intrare DMA nu este un singur semnal — este suprapunerea a trei contribuții distincte care se combină diferit în funcție de ora zilei, așa cum se arată în Figura 4-1:

- ◆ **Cererea de consum** urmează o formă diurnă caracteristică, determinată de comportamentul uman. În zonele rezidențiale DMA, acest lucru produce de obicei două vârfuri — un vârf dimineața între 06:00 și 09:00, când gospodăriile își încep ziua, și un vârf mai mic seara între 17:00 și 21:00. Între aceste vârfuri, cererea scade până la un platou la prânz, apoi scade brusc după miezul nopții până la minimum zilnic. DMA-urile industriale și comerciale produc profiluri mai plate, cu cerere dominată pe timpul zilei și un vârf mic de seară. Forma variază în funcție de cultură, climat și proporția de clienți, dar factorul comportamental de bază este constant între sisteme.
- ◆ **Cereri speciale** — irigațiile, procesele industriale și stocarea instituțională sunt suprapuse pe modelul de bază al locuinței și îl pot distorsiona semnificativ. Un mare irigator sau consumator industrial poate adăuga o componentă de cerere plată sau în formă de bloc care maschează complet forma diurnă rezidențială pe durata perioadei de funcționare.
- ◆ **Scurgerile** contribuie la un flux continuu, dependent de presiune, care nu urmează ritmul de consum. Deoarece presiunea într-un DMA necontrolat este cea mai mare când cererea este cea mai scăzută — de obicei între 01:00 și 05:00 — scurgerile sunt de asemenea cele mai ridicate în această perioadă. Aceasta este baza fizică a analizei MNF: la ora cererii minime, debitul rămas în urmă după scăderea consumului legitim de noapte este predominant scurgere.

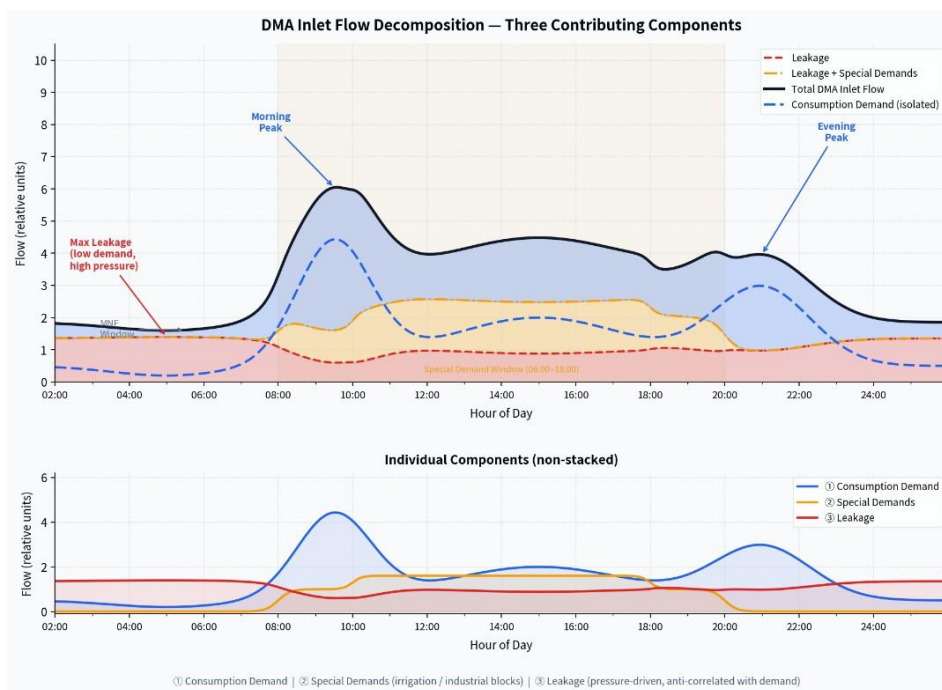


Figura 4-1 Modelul de curgere diurnă și componentele sale (sursa: Fabio Garzón-Contreras).

Înțelegerea care dintre aceste trei componente este dominantă la orice oră este baza estimării scurgerii. Un practician care citește o urmă de flux DMA ar trebui să poată identifica forma consumului, să localizeze minimumul nopții și să evalueze dacă planul nopții este ridicat în raport cu ceea ce ar prezice modelul de consum.

4.1.3 INFLUENȚA CONFIGURAȚIEI APROVIZIONĂRII ȘI REGIMULUI DE PRESIUNE

Forma trasei de curgere diurnă se schimbă substanțial în funcție de modul în care DMA este alimentat și dacă presiunea este gestionată activ. Recunoașterea acestor configurații este esențială înainte de a interpreta orice date de curgere în scopuri de scurgere.

DMA alimentat gravitațional

DMA-urile alimentate prin gravitație fără control al presiunii produc cele mai clare și mai ușor interpretabile urme de curgere. Presiunea variază natural și invers cu cererea: este cea mai mare noaptea, când debitul este scăzut, și scade în perioadele de cerere maximă, pe măsură ce pierderile din frecare cresc odată cu debitul. Figura 4-2 ilustrează această relație normală presiune-flux. Deoarece presiunea este cea mai ridicată tocmai atunci când consumul este minim, contribuția la scurgeri la MNF este, de asemenea, la maximum, ceea ce face analiza MNF fiabilă și sensibilă. Aceasta este configurația pentru care a fost inițial concepută analiza standard MNF (UK Report 26, 1980).

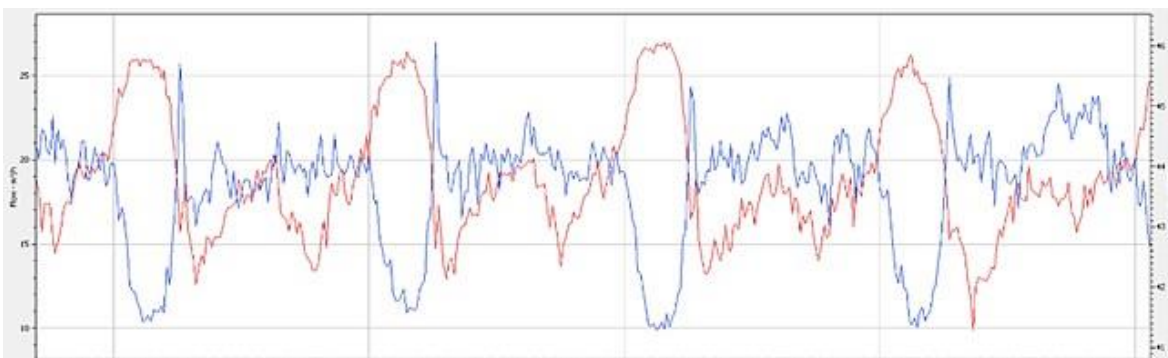


Figura 4-2 Modelul de flux și presiune prin alimentare gravitațională (sursa: Crowder Consulting, 2025)

DMA alimentat prin pompă

DMA-urile alimentate prin pompă introduc un semnal pe partea de aprovizionare în traseul de debit. Ciclurile de pornire și oprire ale pompei creează schimbări în trepte ale debitului care nu au legătură cu cererea clienților și pot fi confundate cu evenimente de cerere sau tranzitorii de presiune. În cazul în care funcționarea pompei este controlată în timp, nu sub presiune, modelul de debit diurn poate reflecta programarea pompei la fel de mult cât consumul efectiv. Analizii ar trebui să obțină programele de funcționare ale pompei înainte de a interpreta datele de debit în sistemele alimentate prin pompă.

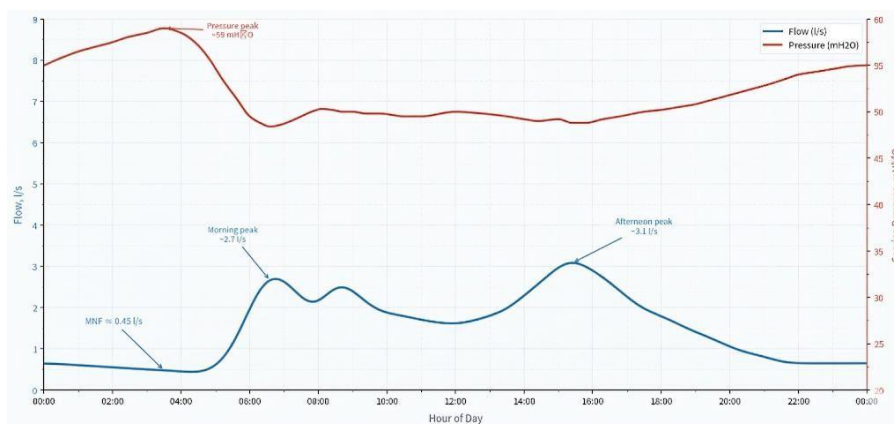


Figura 4-3 DMA cu alimentare prin pompare - model de debit și presiune (UKWIR, 2015)

DMA cu control al presiunii

DMA-urile cu control al presiunii — de obicei echipate cu supape de reducere a presiunii (PRV) sau sisteme active de control — necesită o atenție deosebită. Când presiunea este redusă activ în perioadele de cerere scăzută, relația inversă presiune-flux nu mai este valabilă. În schimb, atât presiunea, cât și debitul urmează un tipar similar, deoarece PRV suprimă presiunea exact atunci când scurgerile ar fi altfel cele mai mari. Figura 4-4 ilustrează această relație presiune-flux controlat. Consecința practică este că MNF-ul într-un DMA gestionat de presiune este artificial mai mic decât ar fi în condiții negestionate. O citire scăzută a MNF nu indică neapărat o scurgere redusă — poate pur și simplu să reflecte o reducere eficientă a presiunii. Orice comparație a valorilor MNF între DMA-urile gestionate sub presiune și cele negestionate trebuie să țină cont de această diferență.

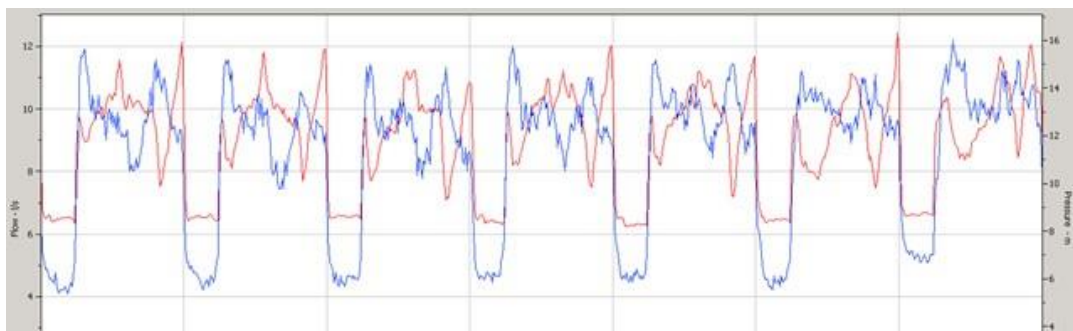


Figura 4-4 DMA controlat prin presiune - flux și model de presiune (sursa: Crowder Consulting, 2025)

DMA cu aprovizionare intermitentă

DMA-urile cu alimentare intermitentă produc modele de curgere fundamental diferite (Figura 4-5). Perioadele de aprovizionare sunt caracterizate de intrări inițiale ridicate pe măsură ce rețeaua se represiurizează și rezervoarele de stocare ale clienților se umplu, urmate de scăderea debitelor pe măsură ce rezervoarele ating capacitatea. În afara orelor de aprovizionare, debitul DMA scade la zero indiferent de nivelul de scurgere, deoarece sistemul este depresiurizat. Analiza standard MNF nu poate fi aplicată direct.

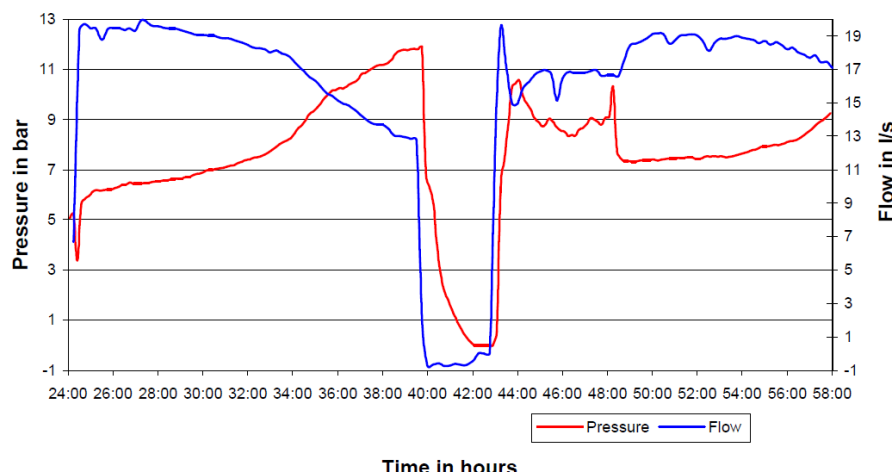


Figura 4-5 DMA intermitent cu alimentarea cu apă - modelul de debit și presiune (sursa: Battermann & Macke, 2001).

DMA cu stocarea clientului

DMA-urile cu depozitare semnificativă pentru clienți — în special cele care deservește clădiri înalte, hoteluri sau spații comerciale mari — prezintă modele de flux netezite și decalate în timp. Rezervoarele de stocare separă consumul clientului de semnalul de alimentare al rețelei: rezervoarele se umplu când presiunea rețelei este disponibilă, nu neapărat când clienții folosesc apă. Vârful dimineții este întârziat și aplatizat, iar activitatea de umplere a rezervorului în timpul sau după vârful de seară poate umfla aparenta MNF, imitând scurgerile. Figurile 4-6 ilustrează contrastul dintre un DMA înalt cu spațiu de depozitare și o locuință convențională cu înălțime joasă.

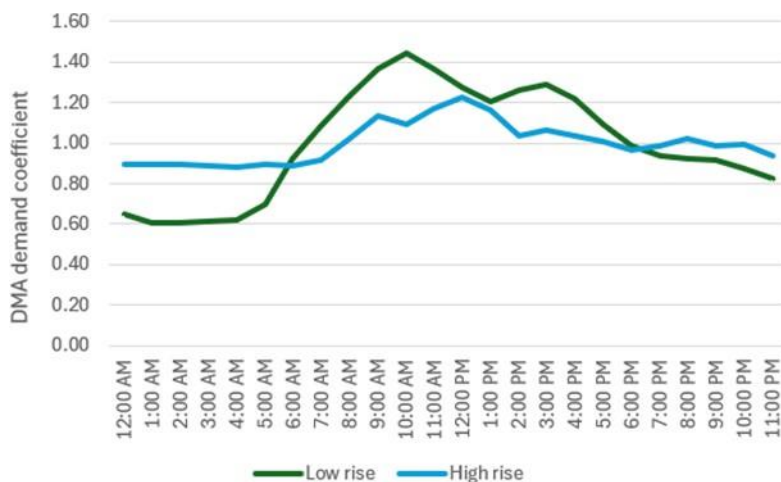


Figura 4-6 Diferență în modelul de curgere datorită prezenței rezervoarelor de stocare (sursa: WMI, 2019)

4.1.4 VARIAȚIE SĂPTĂMÂNALĂ, LUNARĂ ȘI SEZONIERĂ

Modelul diurn descris mai sus se repetă zilnic, dar nu este identic în fiecare zi. Recunoașterea surselor variației zilnice și de la un sezon la altul este esențială pentru a distinge schimbările reale ale scurgerii de fluctuațiile previzibile ale consumului.

Variația săptămânală este constantă și previzibilă în majoritatea sistemelor. Tiparele din timpul săptămânii (de obicei de luni până joi) sunt de obicei similare între ele. Vinerea poate diferi în funcție de contextul cultural și religios — în multe regiuni are un tipar de tip weekend. Sâmbăta și duminica au, de obicei, propriile profiluri distincte, cu vârfuri târzii de dimineață și cerere rezidențială mai mare pe timpul zilei, reflectând timpul petrecut acasă. DMA-urile industriale și comerciale arată contrariul: cererea scăzută în weekend pe măsură ce afacerile sunt închise. Figura 4-7 ilustrează profilurile de flux din timpul săptămânii versus cele de weekend, derivate dintr-o săptămână de date DMA de înaltă rezoluție.

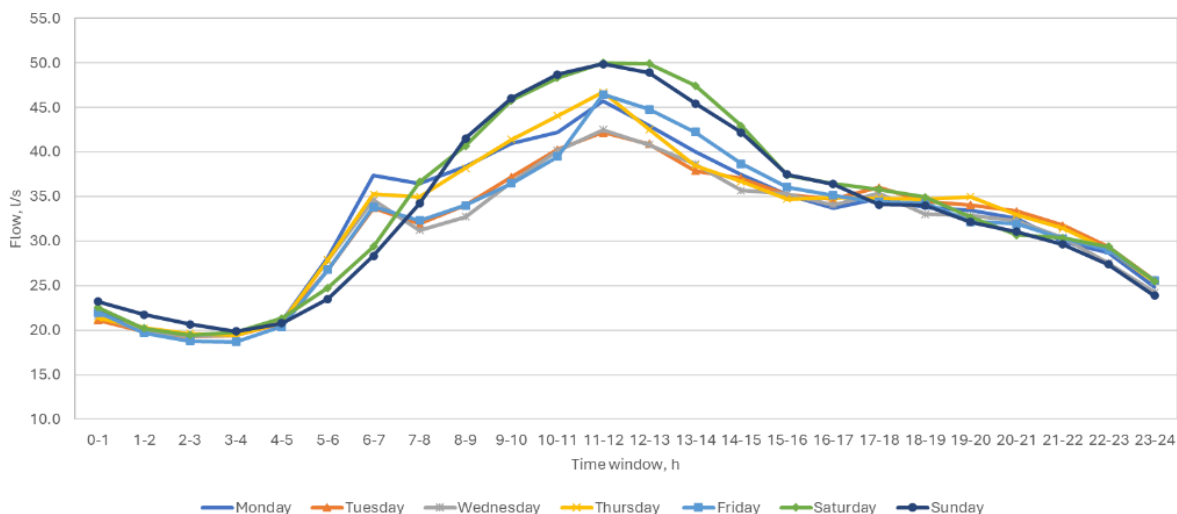


Figura 4-7 Modelul de debit săptămânal

Variația lunară și sezonieră este determinată în principal de temperatură și de consumul de apă în aer liber (Figurile 4-8). Lunile de vară înregistrează de obicei debite medii ridicate datorită irigațiilor grădinii, sistemelor de răcire și cererii turistice. Lunile de iarnă pot prezenta un consum mediu mai scăzut, dar un MNF mai mare dacă temperaturile scăzute cresc frecvența exploziilor și ratele de scurgere de fond. Pentru analiza scurgerilor, este important să se selecteze o perioadă de bază reprezentativă care să excludă evenimentele sezoniere atipice — restricții cauzate de secetă, urgențe de căldură sau perioade cu precipitații neobișnuit de mari — care ar distorsiona estimarea. Se recomandă un minim de două săptămâni de date stabile în condiții normale de funcționare înainte de aplicarea oricărei metode de estimare.

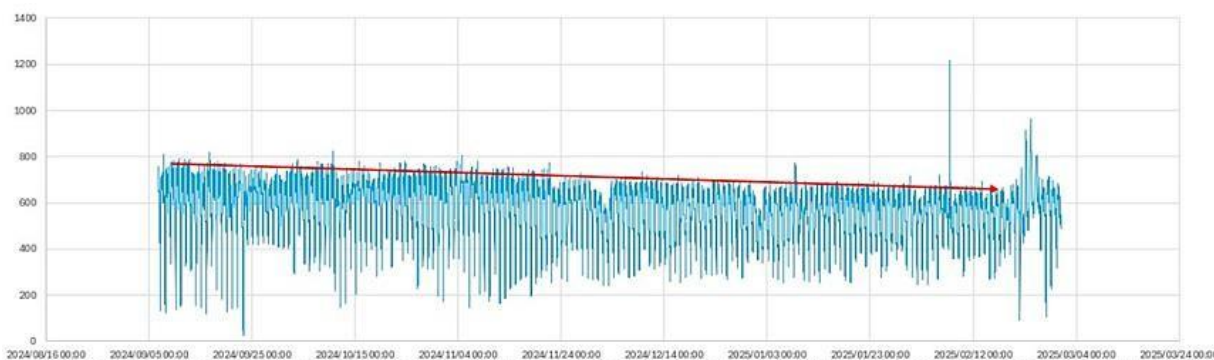


Figura 4-8 Modelul lunar de debit (sursa: NIRAS, 2025)

Tendențele pe mai mulți ani sunt cel mai important semnal pentru gestionarea strategică a scurgerilor. O creștere treptată de la an la an a MNF-ului de bază — vizibilă doar atunci când înregistrările se întind pe peste douăsprezece luni sau mai mult — este semnătura caracteristică a creșterii progresive a scurgerilor de fond, de obicei determinată de îmbătrânirea infrastructurii și deteriorarea conductelor. O creștere bruscă a MNF pe un fundal stabil indică un eveniment discret de explozie. Distincția între aceste două tipare necesită înregistrări pe termen lung: un set de date pe un an dezvăluie fluctuațiile sezoniere; un set de date pe cinci ani începe să dezvăluie tendințele infrastructurii.

4.1.5 ANALIZA TIPARELOR DMA PENTRU MANAGEMENTUL CERERII ȘI PROGNOZA

O utilitate poate folosi datele dintr-un DMA pentru a prognoza cererea de apă analizând tiparele de consum istoric, ora de utilizare, condițiile meteo și fluctuațiile sezoniere. Prognoza la nivel DMA permite utilității să estimeze cererea totală pentru acea zonă și să gestioneze în consecință aprovizionarea cu apă în vrac. Aceasta sprijină planificarea operațională, cum ar fi optimizarea operațiunilor pompelor și supapelor, programarea reumplerilor rezervoarelor și detectarea abaterilor de la tiparele așteptate care ar putea indica scurgeri sau utilizare neautorizată.

Profilarea cererii

Pentru prognoze mai detaliate, cererea poate fi defalcată pe categorii de clienți prin profilarea cererii—segmente rezidențiale, industriale și comerciale—fiecare având tipare distincte de

utilizare. Aceste profiluri pot fi integrate cu un model hidraulic pentru a simula modul în care

Diferite scenarii de cerere influențează comportamentul rețelei, susținând atât planificarea, cât și luarea deciziilor în timp real. Acest nivel de detaliu ajută utilitățile să alinieze mai bine oferta cu cererea, să implementeze o gestionare țintită a presiunii și să planifice modernizări specifice zonelor.

Orizonturi temporale

Previziunile pot fi dezvoltate pe diferite orizonturi temporale. Prognozele pe termen scurt, cum ar fi predicțiile pentru ziua următoare, pot fi adesea realizate în mod fiabil prin aplicarea modelului diurn al zilei precedente, cu ajustări minore pentru temperatură sau evenimente cunoscute. În contrast, prognozele pe termen lung, care pot acoperi luni sau ani, implică mai multă incertitudine și necesită luarea în considerare a factorilor mai largi precum tendințele demografice, schimbările de politici, activitatea economică și schimbările climatice. Aceste previziuni pe termen lung sunt esențiale pentru planificarea strategică a infrastructurii, asigurând reziliența sistemului și pregătirea pentru viitor, evitând în același timp suprainvestițiile.

Previziuni DMA în raport cu zona de aprovizionare

O utilitate poate extinde prognozele la nivel DMA către zonele de aprovizionare prin agregarea predicțiilor cererii din fiecare DMA component și compararea acestora cu fluxul măsurat de intrare către zonă. Aceasta creează o viziune de jos în sus asupra cererii care leagă tiparele locale de consum de planificarea ofertei la nivel superior. Când apar diferențe între previziunile agregate ale DMA și fluxurile reale, acestea indică adesea probleme sistemice, cum ar fi scurgeri în afara limitelor DMA, conexiuni ascunse sau configurări operaționale greșite. La nivel strategic, această abordare nu doar întărește planificarea producției și a pompei, ci oferă și managementului vizibilitate asupra ineficiențelor care altfel ar rămâne ascunse în rețeaua mai largă.

Pași strategici pentru implementarea acestui lucru:

- ◆ **Stabiliți prognoza la nivelul DMA:** Construiește o capacitate consecventă de prognoză în fiecare district.
- ◆ **Agregați în zone de aprovizionare:** Să încadreze previziunile DMA pentru a se alinia cu zonele operaționale de aprovizionare, să se alinieze pe timestamp-uri pe diferite orizonturi temporale.
- ◆ **Repere în raport cu fluxurile de zone:** Compară prognozele cu fluxurile măsurate în zona de aprovizionare pentru a evalua performanța.
- ◆ **Identificați discrepanțele sistemice:** tratează golurile persistente ca indicatori ai scurgerii DMA-uri externe, erori de valvă de limită sau puncte oarbe de planificare.

Această utilizare strategică a prognozei DMA o ridică de la un instrument operațional de scurgere la un cadru pentru planificarea pe termen lung a resurselor și eficiența rețelei.

4.1.6 PARAMETRI CHEIE DE FLUX

Parametrii de debit folosiți în estimarea scurgerii sunt derivați direct din modelele descrise mai sus. Definițiile, metodele lor de calcul și considerațiile practice sunt prezentate în subsecțiunile care urmează.

Flux net

Dacă un DMA are mai multe intrări și ieșiri, Debitul Net — denumit și Cerere Totală DMA sau, în cadrul Bilanțului de Apă IWA, Volum de Intrare al Sistemului (Pearson, 2019) este debitul total în zonă calculat prin însumarea tuturor citirilor contoarelor de intrare și ieșire cu semnele corespunzătoare:

$$\text{Debit net} = \text{Intrare totală} - \text{Ieșire totală}$$

În DMA-urile cu mai multe intrări, direcția fluxului poate varia de la o oră la alta și variază între perioadele de vârf și cele cu cerere scăzută, în funcție de sursele de aprovizionare disponibile și de presiunile rețelei. Debitul net este astfel calculat ca suma algebrică a tuturor citirilor de la limită, cu intrarea definită ca pozitivă și ieșire ca negativă. Este esențial ca toate contoarele care contribuie la acest calcul să fie sincronizate cu aceeași rezoluție temporală și ca convenția semnelor pentru fiecare aparat să fie verificată în raport cu condițiile reale ale câmpului, nu presupunându-se doar din desene.

Atunci când DMA conține utilizatori cu măsurare continuă al căror consum este înregistrat separat, Fluxul Net este determinat prin scăderea atât a ieșirilor totale, cât și a consumului înregistrat al utilizatorilor din totalul intrărilor.



Verificați întotdeauna direcția fluxului fiecărui metru de frontieră instalat pe teren — ideal cu înregistrări fotografice — deoarece atribuirea incorectă a direcției fluxului este una dintre cele mai frecvente erori întâlnite în datele DMA. De obicei, apare din discrepanțe între desenele de proiectare și condițiile reale ale sitului, planuri de rețea georeferențiate slab sau conducte ambigue

Debit mediu

Debitul mediu (AF) reprezintă debitul net total de apă intrat în DMA, mediat pe o perioadă definită — zilnic, săptămânal sau lunar. Aceasta cuprinde atât consumul autorizat (facturat și nefacturat), cât și pierderile (reale și aparente) și este folosit ca numitor în Metoda Raportului și ca Volum de Intrare al Sistemului în Metoda Bilanțului Apei.

Când calculezi AF, aplică următoarele:

- ◆ Excludeți valorile de eroare și valorile aberante identificate în timpul validării datelor (Capitolul 3).
- ◆ Excludeți valorile de debit zero înregistrate în afara orelor de aprovizionare în sistemele de alimentare intermitente (Secțiune 4.3.2).
- ◆ Folosiți un minim de 7–14 zile de date în condiții stabile de funcționare pentru a asigura un rezultat reprezentativ.

Debit minim de noapte

Debitul Minim de Noapte (MNF) este cel mai scăzut debit mediu pe o oră înregistrat la limita DMA în perioada nopții, definit de obicei de la miezul nopții până la 06:00. În sistemele urbane, MNF are loc de obicei într-o fereastră de două ore, dimineața devreme, deși momentul exact variază în funcție de regiune și de proporția de clienți (Pearson, 2019).

Într-un DMA stabil, majoritatea MNF-ului se datorează scurgerilor, deoarece consumul clienților atinge minimul zilnic în această perioadă. Prin urmare, MNF este principala intrare pentru metoda de analiză MNF descrisă în Secțiunea 4.2.3.

În DMA-urile cu mai multe intrări sau ieșiri, MNF este minimul debitului net agregat peste toate contoarele de frontieră — nu suma debitelor minime individuale înregistrate separat la fiecare metru (IWA, 2024). Această distincție este importantă: sumarea minimelor individuale ale metrelor, care pot apărea la momente diferite, va subestima adevăratul MNF.

Atunci când este necesară cea mai mare precizie a măsurătorii, se poate aplica o înregistrare rapidă la intervale de o secundă sau mai puțin fără a interfera cu configurația standard a jurnalismului. Aceasta permite detectarea tranzitorilor de presiune și determinarea mai precisă a MNF folosind Pulse Interval Timing (PIT), descris în Secțiunea 2.3.

Tabelul 4-1 rezumă cele trei metode principale de calcul MNF — Fix, Rolling și Actual — iar Figura 4-9 ilustrează aplicarea lor la o urmă tipică de curgere DMA.

Tabelul 4-1 Metode de calcul DMA MNF

Metodă	Calcul	Note	Valoare din Exemplu
Actual	Cea mai mică valoare reală în timpul nopții Punct	Poate fi influențat de calitatea datelor	0,48 m ³ /h
Fixat	Valoarea medie a citirilor peste Perioadă fixă de noapte (de obicei o oră)	Poate apărea un debit minim real În afara perioadei fixe	0,59 m ³ /h
Rulare	O medie mobilă a celor mai mici debite în timpul ferestrei de timp mobilă Pe mai multe nopți	Netezirea anomaliilor și a problemelor de calitate a datelor	0,54 m ³ /h

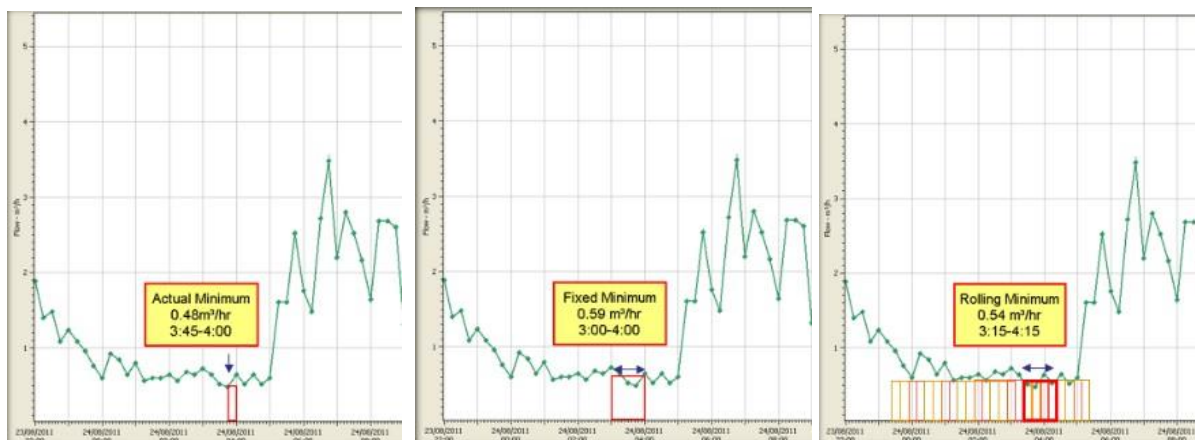


Figura 4-9 *Exemplu de metode de calcul DMA MNF (sursa: Crowder Consulting, 2025).*

Alegerea metodei de calcul MNF ar trebui să fie ghidată de obiectivul analitic. Pentru monitorizarea de rutină și estimările raportate privind scurgerile, se recomandă un percentil mobil de 7 zile din ora minimă mobilă (UKWIR, 2017). Ora minimă de rulare se calculează prin media a patru valori consecutive de debit pe 15 minute, producând o medie orară la fiecare 15 minute; Minimul acestor medii orare mobile în intervalul 00:00–06:00 este apoi stabilit pentru fiecare seară. Percentila de 7 zile se calculează zilnic prin ordinarea orelor minime în mișcare din ziua curentă, cele trei zile anterioare și cele trei zile următoare, și calcularea percentilului acestor șapte valori.

Percentila 20 oferă cea mai bună estimare a tendinței de scurgere subiacente. Prin returnarea unei valori între a doua și a treia cea mai mică dintre cele șapte valori zilnice, permite ignorarea unor valori izolate de scăzute — cauzate de consumul neobișnuit de scăzut pe timp de noapte într-o singură noapte — în timp ce rămân sensibile la creșterile reale ale scurgerilor. Unde toleranțele consistente de utilizare pe timp de noapte la nivelul percentilei 20 sunt dificil de determinat, percentila 50 este o alternativă practică acceptabilă; corespunde mai bine condițiilor medii de noapte și simplifică estimarea utilizării pe timp de noapte. Perioada în care se aplică percentila ar trebui să fie suficient de scurtă pentru a detecta schimbări bruște, cum ar fi evenimentele de explozie, dar suficient de lungă pentru a netezi variația zilnică a utilizării pe timp de noapte — 7 zile reprezintă un compromis bine susținut.

Metoda orei fixe — debitul minim într-o fereastră nocturnă fixă — oferă rezultate similare cu ora minimă mobilă și poate fi preferată acolo unde sistemele operaționale nu sunt configurate pentru calcule ale mediei mobile. Este potrivit pentru alertarea zilnică și monitorizarea automată, unde simplitatea computațională este mai valoroasă decât precizia.

MNF efectiv — debitul minim neconstrâns pe întreaga perioadă de 24 de ore — este potrivit pentru evaluări de scurgeri unice, calcule formale de analiză MNF (Secțiunea 4.2.2) și aplicații BABE, dar nu trebuie folosit pentru monitorizare de rutină sau estimări raportate ale scurgerilor.

Pentru estimările lunare și anuale ale scurgerilor, valorile percentilelor zilnice pe 7 zile ar trebui mediate pe perioada de raportare. Acolo unde apar lacune în date, percentila poate fi calculată cu mai puțin de 7 zile de date, dar fiabilitatea scade progresiv. Percentila nu ar trebui calculată atunci când sunt disponibile mai puțin de 4 valori zilnice; golurile sub acest prag trebuie umplute folosind media valorilor percentilelor pe 7 zile din lunile imediat dinaintea și după această pauză.

Indiferent de metoda folosită, aportul de utilizare pe timp de noapte aplicat trebuie să fie în concordanță cu metoda de estimare a scurgerilor aleasă. Combinarea unei linii de noapte în percentila 20 cu o alocație de utilizare nocturnă derivată din condițiile medii de noapte, de exemplu, va subestima sistematic scurgerile.

4.2 METODE DE ESTIMARE A SCURGERII

Scurgerea într-un DMA nu poate fi măsurată direct — trebuie estimată prin analiza datelor de debit și presiune colectate la limita DMA și combinarea acestora cu cunoașterea legitimității

consum. Fiabilitatea oricărei estimări depinde de calitatea acelor date, validitatea presupunerilor aplicate și gradul în care metoda aleasă este adecvată pentru caracteristicile specifice ale sistemului analizat.

Nicio metodă unică nu este universal optimă. Fiecare dintre metodele prezentate în această secțiune impune cerințe diferite privind disponibilitatea și calitatea datelor, operează la niveluri diferite de rezoluție spațială și implică un grad diferit de incertitudine inerentă. Alegerea metodei ar trebui, așadar, să fie determinată de obiectivul analitic — fie că scopul este o verificare rapidă a mai multor DMA-uri, o cuantificare precisă a pierderilor totale într-un singur DMA sau identificarea locațiilor probabile ale scurgerilor în rețea — precum și de datele și resursele disponibile analistului.

Metodele prezentate aici acoperă această gamă de obiective și cerințe de date. La un capăt, Metoda Raportului necesită doar date de debit și oferă un indicator comparativ rapid, potrivit pentru screening inițial. Analiza MNF și Metodele de Echilibru al Apei sunt pilonii de bază ai managementului operațional al scurgerilor, fiecare abordând estimarea totală a scurgerilor dintr-o direcție diferită — unul de jos folosind debitul minim de noapte, celălalt de sus folosind echilibrul ofertă-consum. Tabelul 4-2 rezumă caracteristicile cheie, cerințele de date și aplicațiile adecvate ale fiecărei metode.

Tabelul 4-2 Metode de estimare a nivelului de scurgere DMA.

Metodă	Cel mai bun pentru...	Necesită	Provocări principale
Metoda raportului	Pentru a estima nivelul de scurgere de ordinul de mărime și a compara Ei între DMA-uri	DMA-uri cu puține date disponibile (doar flux)	Foarte aproximativ
Echilibrul apei DMA (de sus în jos)	Estimarea NRW	Debitmetrele DMA de intrare și ieșire, mare Raport de clienți cu măsurare și citiri regulate	Estimarea pierderilor aparente
Analiza DMA MNF (de jos în sus)	Estimarea pierderilor reale (scurgeri)	Debitoare DMA de intrare și ieșire și presiune medie în zonă cu frecvență ridicată, utilizare legitimă pe timp de noapte, model diurn stabil	Estimarea legitimă a utilizării pe timp de noapte

Fiecare estimare a scurgerii aduce incertitudine. Magnitudinea acelei incertitudini depinde de acuratețea datelor de intrare, validitatea presupunerilor încorporate în metodă și stabilitatea condițiilor de funcționare pe durata perioadei de măsurare. Cuantificarea acestei incertitudini — în loc să trateze estimarea ca pe o cifră precisă — este esențială pentru luarea unor decizii solide. Cadrul de estimare a incertitudinii prezentat în Capitolul 3 se aplică direct estimărilor de scurgere derivate de oricare dintre metodele de mai jos; practicienii sunt încurajați să documenteze incertitudinea asociată fiecărei estimări și să o comunice împreună cu rezultatul.

Exemplul estimării scurgerii DMA bazate pe date în cazuri reale, folosit de Brønderslev Water Company din Danemarca, este prezentat în Anexa G.

4.2.1 METODA RAPORTULUI

Metoda Raportului este un instrument simplu și eficient de screening pentru estimarea inițială a nivelurilor de scurgere și pentru detectarea noilor evenimente de scurgere într-un DMA. Este deosebit de utilă atunci când:

- ◆ Sunt disponibile doar date de debit - nu sunt necesare date de măsurare a presiunii sau ale clienților.
- ◆ Este necesară o verificare comparativă rapidă pe mai multe DMA-uri pentru a identifica cele cu cele mai mari niveluri de scurgeri.
- ◆ DMA funcționează fără control activ al presiunii.

Această metodă se bazează pe raportul dintre MNF și debitul mediu (AF), care servește ca indicator al magnitudinii relative a pierderilor reale în cadrul DMA. Un raport mai mare indică un nivel mai mare de pierderi reale în DMA.

$$\text{Raport} = \frac{\text{MNF}}{\text{AF}}$$

Monitorizată în timp, o creștere bruscă a raportului MNF/AF în raport cu valorile istorice este un indicator de încredere al unui nou eveniment de scurgere.

Figura 4-10 arată debitul de intrare măsurat pentru două DMA-uri rezidențiale de dimensiuni diferite. Raportul MNF/AF substanțial mai mare în DMA stâng indică un nivel semnificativ mai mare de scurgeri.

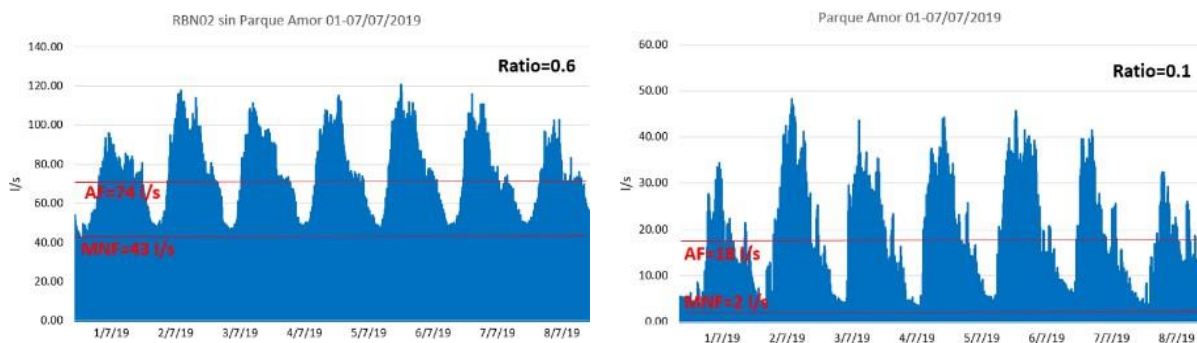


Figura 4-10 Comparație între DMA folosind raportul MNF/AF (sursa: WMI, 2020).

Praguri tipice de clasificare (sub rezerva contextului local și cererii sezoniere):

- ◆ Raport < 0,30: Scurgere redusă
- ◆ Raport $\leq 0,30 \leq 0,50$: Scurgere medie
- ◆ Raport > 0,50: Scurgere mare.

Atunci când o utilitate definește un raport MNF/AF țintă, diferența dintre MNF-ul real și MNF-ul implicat de acel raport țintă la AF-ul curent oferă o indicație aproximativă a scurgerii recuperabile, sub rezerva limitărilor de dependență de presiune ale acestei metode.

4.2.2 BILANȚ HIDROGRAFIC

Bilanțul de Apă IWA este un cadru larg aplicat pentru cuantificarea Apei Non-Profit la nivelul unei utilități de apă sau a unei zone de aprovizionare. La nivel DMA, aceeași structură contabilă se aplică

— Volumul de intrare al sistemului minus consumul autorizat este egal cu NRW — dar contextul practic

este fundamental diferit, iar mai multe presupuneri acceptabile la nivel de utilitate necesită o reanalizare atentă atunci când sunt aplicate la un DMA.

La nivel de utilitate, volumul de intrare al sistemului este de obicei derivat din contoarele de producție de la uzinele de tratare sau punctele de import în vrac, care sunt instrumente mari, bine întreținute, care funcționează în intervalul de debit proiectat și calibrate la un standard înalt. La nivel DMA, măsurarea echivalentă este Debitul Net calculat de la contoare de frontieră care pot fi mai mici, mai vechi, care pot funcționa aproape de limitele intervalului lor de măsurare în perioadele de cerere scăzută și sunt supuse efectelor de instalare discutate în Capitolul 2. Incertitudinea de măsurare la nivel DMA este, prin urmare, structural mai mare decât la nivel de utilitate, iar aceasta se propagă direct în incertitudinea estimării Pierderilor Reale.

La nivel de utilitate, consumul clienților este cunoscut din evidențele de facturare care acoperă întreaga bază de clienți cu o completitudine rezonabilă. La nivel DMA, granița spațială a DMA și cea a bazei de date de facturare sunt frecvent nealiniată, iar înainte de a încerca orice calcul al Bilanțului Apei, analistul ar trebui să verifice dacă registrul clienților folosit pentru estimarea consumului corespunde limitei fizice DMA așa cum este configurată în prezent, nu unei granițe istorice sau administrative care s-ar fi putut îndepărta de aceasta.

Dimensiunea timpului reprezintă o provocare suplimentară specifică DMA-urilor. La nivel de utilitate, volumele de producție și datele de facturare sunt de obicei agregate în același ciclu lunar sau anual de raportare. La nivel DMA, Net Flow este înregistrat continuu la intervale de 15 minute, în timp ce citirile contoarelor clienților sunt colectate pe rutele mobile care pot dura una până la două săptămâni pentru un singur DMA. Neglijarea acestei nealiniere poate introduce erori sistematice în estimarea pierderilor reale, în special în perioadele de consum cu schimbări rapide, cum ar fi tranziția dintre cererea de vară și cea de iarnă.

În final, DMA-urile sunt suficient de mici încât un singur client mare — un spital, o facilitate industrială, un hotel cu stocare semnificativă — poate reprezenta o fracțiune semnificativă din consumul total autorizat. La nivel de utilitate, consumatorii mari individuali sunt transformați într-o medie a populației. La nivel DMA nu sunt, iar tiparele lor de consum, dimensiunile contoarelor și ciclurile de facturare merită atenția individuală, nu tratamentul ca parte a unei baze omogene de clienți.

Aceste considerente nu fac ca Balanțul Apei să fie neaplicabil la nivel DMA — ele îl fac mai dificil de aplicat corect. Procedura care urmează abordează fiecare dintre aceste provocări pe rând.

Construirea unui bilanț de apă DMA: Procedură pas cu pas

Cadrul IWA Water Balance (Pearson, 2019) oferă structura standard pentru cuantificarea NRW la orice nivel al sistemului de distribuție (Figura 4-11). La nivel DMA, același cadru se aplică, dar sursele de date și provocările practice diferă de calculele la nivel de utilitate. Procedura următoare ghidează analistul printr-un echilibru complet al apei DMA în condiții operaționale tipice.

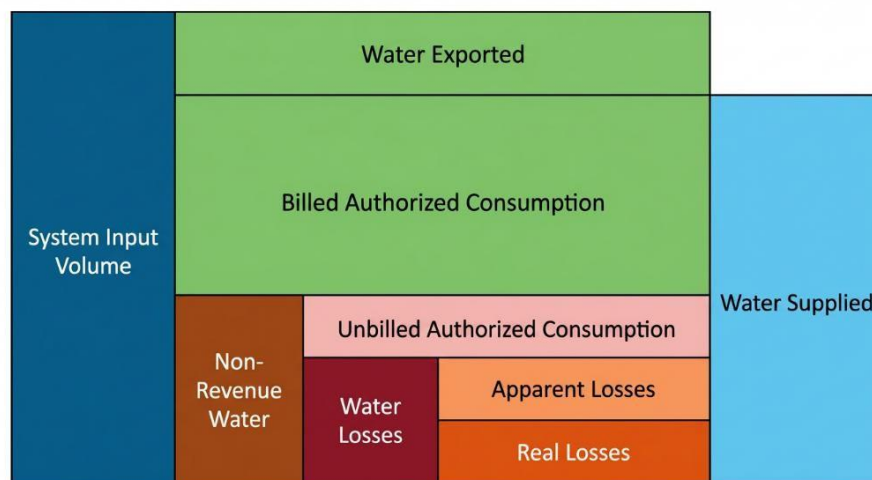


Figura 4-11 Bilanț de Apă IWA

Pasul 1 — Definirea perioadei de analiză

Selectați o perioadă reprezentativă pentru condițiile normale de funcționare și pentru care sunt disponibile date complete pentru toate componentele. Evitați perioadele afectate de intervențiile rețelei, schimbările regimului de presiune, înlocuirea contoarelor sau evenimentele atipice de cerere precum secetele sau sărbătorile legale. Pentru o primă evaluare, o lună calendaristică este un punct de plecare practic; Pentru gestionarea activă a scurgerilor, sunt preferabile menstruații săptămânale sau zilnice. Toți pașii următori trebuie să folosească date care acoperă exact această perioadă — alinierea temporală între componente este cea mai importantă cerință de calitate a calculului Bilanțului Apei.

Pasul 2 — Calcularea volumului de intrare al sistemului

Volumul de Intrare al Sistemului (SIV) este volumul total de apă care intră în DMA în perioada de analiză, calculat prin integrarea Debitului Net (Secțiunea 4.1.5) în timp. Atunci când DMA conține rezervoare de distribuție, schimbările de volum în stocarea rezervorului trebuie luate în considerare: apa extrasă dintr-un rezervor în acea perioadă trebuie adăugată la debitul de intrare măsurat, iar apa folosită pentru umplerea unui rezervor trebuie scăzută. De asemenea, trebuie inclusă pomparea directă din sonde sau alte surse din limitele DMA.

Pasul 3 — Determinarea consumului autorizat facturat

Consumul Autorizat Facturat este volumul total facturat clienților înregistrați pe parcursul perioadei de analiză. Înainte de extragerea datelor de consum, trebuie efectuate două verificări de aliniere

— unul spațial și unul temporal — și, acolo unde sunt prezente conturi nemăsurate, aranjamentele de aprovizionare și plată pentru aceste conturi trebuie confirmate. Toate cele trei sunt surse de eroare sistematică specifice analizei la nivel DMA, care nu apar în același mod la nivel de utilitate.

Aliniere spațială — verifică registrul clientului în raport cu limita fizică DMA

Registrul clientului folosit pentru extragerea datelor de consum trebuie să corespundă limitei

fizice DMA așa cum este configurată în prezent. Nealinieare spațială între zonele de facturare și DMA

limitele sunt comune și apar din mai multe cauze: clienții din apropierea limitei DMA pot fi repartizați către o zonă de facturare diferită față de DMA de unde sunt aprovizionați fizic; proprietățile pot fi transferate între DMA-uri după reconfigurări ale rețelei fără ca sistemul de facturare să fie actualizat; iar conexiunile cu contoare vrac sau clienții en-gros pot să nu apară în extragerea standard de facturare rezidențială. Oricare dintre aceste condiții introduce o eroare sistematică în cifra de Consum Autorizat Facturat, care se reflectă direct în reziduul Pierderilor Reale.

Înainte ca extragerea consumului să fie efectuată, analistul ar trebui să verifice registrul clienților cu limita actuală DMA folosind modelul GIS sau de rețea, să identifice orice conturi spațiale în interiorul limitei DMA, dar alocate unei zone de facturare diferite, și să confirme că toate contoarele de vrac-gros și en-gros din interiorul limitei sunt incluse. Această verificare este o investiție unică per DMA care îmbunătățește semnificativ fiabilitatea tuturor calculelor ulterioare ale Bilanțului de Apă.

Alinierea temporală — potrivirea datelor de facturare cu perioada de analiză

Ciclurile de facturare și perioadele de monitorizare a fluxului DMA sunt rareori aliniate: rutele de citire a contoarelor durează de obicei una până la două săptămâni, iar înregistrările de facturare sunt agregate pe ciclu de facturare, nu pe perioade calendaristice. Pentru a alinia consumul facturat cu perioada de analiză, ar trebui aplicată una dintre următoarele abordări:

- ◆ Acolo unde sunt instalate contoare statice, extrageți înregistrările de consum orar sau zilnic pentru toate contoarele din limita DMA și sumați-le direct pe durata perioadei de analiză. Un eșantion reprezentativ de 30% este considerat acceptabil acolo unde nu există acoperire completă (UKWIR, 2024).
- ◆ Atunci când se folosesc citiri manuale ale contoarelor, se proporționează consumul facturat la perioada de analiză folosind ratele medii zilnice de consum derivate din volumul ciclului de facturare și durata acestuia.
- ◆ Atunci când consumul nu este măsurat și facturat la un tarif fix, se aplică rata adecvată de consum pentru fiecare tip de proprietate din valorile de referință publicate potrivite contextului local sau din măsurători locale pe teren.

Consumatori mari

Indiferent de metoda de aliniere temporală aplicată, consumatorii mari non-interni din cadrul DMA ar trebui tratați individual, nu ca parte a extracției consumului general. Un singur spital, hotel, facilitate industrială sau spațiu comercial poate reprezenta o fracțiune semnificativă din consumul total de DMA, iar erorile din datele lor de facturare — contoarele citite greșit, atribuirea incorectă a tarifelor, citirile estimate neconciliate cu datele reale — au un efect disproporționat asupra cifrei de Consum Autorizat Facturat. Atunci când cea mai recentă citire a unui consumator mare se situează în afara perioadei de analiză, consumul ar trebui estimat din ratele medii zilnice obținute din citirile înconjurătoare, în loc să fie transferate mai departe dintr-o citire învechită.

Consum nemăsurat

Pasul 3a — Identificarea aranjamentului de aprovizionare și clasificarea plăților

Înainte de a aplica orice metodă de estimare, confirmați două caracteristici ale fiecărui grup de conturi nemăsurate: aranjamentul de aprovizionare — dacă furnizarea este cu contor vrac sau individual nemăsurată — și aranjamentul de plată — dacă o factură este emisă și de către cine.

Atunci când un conmetru vrac este instalat la limita zonei de aprovizionare, întregul volum măsurat este facturat ca Consum Autorizat. Balanța de apă a utilității se termină la contor: scurgerile pe conductele interne de distribuție din aval sunt în afara limitelor activelor utilității și intră în contabilitatea proprie a operatorului intern. Procedura de Factor de Ajustare a Utilizării Non-Metered (NMUAF) de mai jos nu se aplică.

Acolo unde nu există un conmetru vrac și proprietățile sunt furnizate fără contoare individuale, clasificarea bilanțului apei depinde de aranjamentul de plată:

- ◆ Unde comunitatea sau municipalitatea plătește o factură la orice tarif aplicabil — inclusiv un tarif social — consumul este Facturat Consum Autorizat. Atunci când se aplică un tarif social, această rată ar trebui folosită ca numitor de conversie în Pasul 3b, nu ca tarif rezidențial.
- ◆ În cazul în care nu se emite nicio factură, dar furnizarea este autorizată, consumul este Consum Nefacturat Autorizat și trebuie estimat la Pasul 4.
- ◆ Atunci când nu se emite nicio factură și nu există autorizație, furnizarea este Consum Neautorizat și aparține Nivelului 5, sub rezerva deciziei de clasificare a poliței din Pasul 4.

Pasul 3b — Convertirea sarcinii cu rată fixă în volum de bază

Împărțiți taxa cu tarif fix la taxa unitară volumetrică aplicabilă pentru a produce un volum de consum de bază per gospodărie, exprimat pe aceeași perioadă de facturare ca și tariful fix, apoi scalat la perioada de analiză. Unde se aplică o singură rată volumetrică, această conversie este directă. Atunci când este în vigoare o tarifă bloc în creștere, se folosește venitul mediu pe metru cub între clienții cu contoare de același tip de proprietate în cadrul DMA, calculat din înregistrările de facturare. Acest lucru evită circularitatea utilizării unei rate de bloc care depinde de volumul de consum estimat. Atunci când datele de facturare nu sunt suficiente pentru a calcula această medie, prima rată de bloc poate fi folosită ca rezervă, observând că aceasta va tinde să producă un volum de bază mai mare.

Pasul 3c — Estimarea consumului nemăsurat

Sunt disponibile două abordări în funcție de existența infrastructurii de măsurare sub-DMA.

- ◆ Abordarea NMUAF — unde măsurarea directă sub-DMA nu este disponibilă:

Consumatorii fără contor folosesc sistematic mai multă apă decât consumatorii cu contor de tipuri echivalente de proprietăți, din cauza absenței unui descurajant financiar pentru

Utilizare excesivă — diferența de elasticitate la măsurare. Rata de bază fixă de la Pasul 3b subestimează consumul fizic și trebuie ajustată în sus:

$$\text{Consum estimat nemăsurat} = \text{Volum de bază} \times \text{NMUAF}$$

NMUAF ar trebui derivat din măsurarea locală a terenului — comparații pereche ale consumului înainte și după instalarea contorului sau monitorizarea unui eșantion de conexiuni nou măsurate, anterior nemăsurate. Atunci când datele locale nu sunt disponibile, intervalele de referință din Tabelul 4-3 pot fi folosite ca punct de plecare. Aceste intervale se bazează pe experiența practicienilor și ar trebui înlocuite cu valori calibrate local pe măsură ce datele de teren devin disponibile.

Tabelul 4-3 Metode de estimare a consumului nemăsurate.

Tip de dezvoltare	Arealul NMUAF	Șofer principal
Rezidențial cu densitate mare	1.20-1.25	Utilizare predominant în interior
Urban standard / venit mediu	1.25-1.30	Discreționar În aer liber utilizare; Grădini mici
Densitate redusă / suburbie	1.30-1.40	Irigații; mai mare Proprietate Urme de amprentă
Așezări informale — robinet comunal, fără contor vrac	1.25-1.35	Deșeuri doar în aval de ieșirea robinetului — vezi condițiile de frontieră de mai jos
Eco-districte moderne	1.00-1.10	Debit reducechipamente; Infrastructură eficientă din punct de vedere al apei

Atunci când un DMA conține un amestec de tipuri de dezvoltare, se aplică o medie ponderată NMUAF bazată pe proporția conturilor nemăsurate din fiecare categorie.

- ◆ Abordare de monitorizare a zonei — acolo unde este disponibilă măsurarea sub-DMA:

Atunci când un registrator de debit poate fi instalat la intrare într-o subzonă discretă nemăsurată, consumul nemăsurat poate fi estimat direct: măsurarea debitului total de intrare pe durata analizei, scăderea estimată a rețelei derivată din analiza debitului nocturn la intrarea sub-zonei și scăderea consumului măsurat al oricărui client măsurat din sub-zonă. Reziduul este consumul nemăsurat pentru acea zonă și perioadă. Aceasta este cea mai directă metodă disponibilă, iar rezultatele sale ar trebui folosite pentru a calibra NMUAF pentru tipuri similare de dezvoltare în alte părți ale portofoliului.

Rezultatul Pașilor 3b și 3c este consumul pe gospodărie pe perioadă de analiză. Aceasta este cifra care intră în Balanța Apei. Conversia la consum pe cap de locuitor nu este necesară pentru scopurile Bilanțului Hidrologic, deoarece numărul proprietăților din registrul de active este mai fiabil decât estimările de ocupare, care sunt de obicei mai puțin actuale și aduc o incertitudine mai mare — în special în zonele cu schimbări urbane rapide.

Calibrarea NMUAF

Unde se derivă valori NMUAF calibrate local, ținta de calibrare este consumul pe gospodărie pe zi în funcție de tipul dezvoltării, folosind numărul de proprietăți din registrul de active ca numitor. Monitoarele individuale ale gospodăriei — cu înregistrare a datelor la intervale de 15 minute pentru analiza profilului de debit sau cu citiri manuale doar pentru consumul mediu — și monitoarele de zonă descrise mai sus sunt principalele metode de câmp. Atunci când sunt disponibile mai multe DMA-uri cu caracteristici similare, combinarea rezultatelor între DMA-uri produce estimări mai robuste și este deosebit de valoroasă pentru utilitățile mai mici care nu pot susține un program individual mare de monitorizare. Valorile calibrate NMUAF ar trebui revizuite la fiecare trei până la cinci ani, pe măsură ce penetrarea contoarului, structura tarifară și tiparele de dezvoltare urbană se schimbă.

Condiții la limită pentru prevenirea numărării duble

Trei limite se aplică tuturor estimărilor de consum nemăsurate, indiferent de abordarea folosită.

Estimarea acoperă deșeurile legitime de consum în aval de ultimul punct presurizat al sistemului utilității — ieșirea de robinet sau punctul de conexiune. Scurgerile pe conductele deținute de utilități în amonte de acel punct reprezintă Pierdere Reală și este estimată la Pasul 6. În așezările informale aprovizionate prin robinete comune, această limită este ieșirea de la robinet: scurgerile în amonte sunt Pierderi Reale; Deșeurile după ce apa iese de la robinet sunt consumate. Acolo unde scurgerile în amonte sunt semnificative, volumul său ar trebui estimat din măsurătorile de debit nocturn la punctul de alimentare de decantare și înregistrat ca Pierdere Reală la Pasul 6, neinclusă în estimarea consumului.

Estimarea nu include consumul neautorizat — apă luată fără autorizația utilității — ceea ce este estimat la Pasul 5. Atunci când consumul neautorizat este prezent în zone nemăsurate, acesta trebuie exclus din estimarea consumului.

Așezarea informală NMUAF include deșeuri comune de la robinet doar acolo unde utilitatea a clasificat acea aprovizionare ca Consum Autorizat în Pasul 4. Acolo unde a fost clasificată ca Consum Neautorizat, trebuie exclusă aici și estimată în Pasul 5.

Pasul 4 — Estimarea consumului autorizat nefacturat

Consumul Autorizat Nefacturat (UAC) cuprinde două categorii distincte: deservirea apei — volumele folosite de utilitate în scopuri operaționale proprii — și alimentarea gratuită cu apă — volume furnizate gratuit anumitor categorii de consumatori prin obligație legală, aranjament contractual sau politică de utilitate (Vermersch et al., 2016). Deși UAC nu este o pierdere de apă, este o componentă a NRW, iar subestimarea sau neglijarea sa va duce la supraestimarea sistematică a Pierderilor Reale și Aparente și, în consecință, la o planificare greșită a acțiunilor.

Înainte de orice încercare de cuantificare, prima sarcină este stabilirea unui inventar al tuturor categoriilor UAC prezente în DMA pe durata perioadei de analiză. Întreținerea apei include de obicei curățarea rezervoarelor, spălarea conductelor, evacuarea rețelei pentru

Întreținerea calității apei, debitul hidrantului și

Teste de presiune și spălare inversă a dispozitivelor de tratament. Aprovizionarea gratuită cu apă poate include apa furnizată localurilor municipale, fântânilor publice, operațiuni de curățare a străzilor, stingerea incendiilor, protecția împotriva înghețului și personalul utilităților — categoriile exacte depind de aranjamentele legale și contractuale locale.

O categorie de UAC care merită recunoaștere explicită, în special în contexte de țări cu venituri mici și medii, este apa furnizată așezărilor informale sau comunităților situate în zone cu risc de dezastru. Atunci când o astfel de aprovizionare este asigurată în baza unei obligații legale, a unui mandat constituțional privind drepturile omului sau a unei directive de reglementare explicită, aceasta este clar UAC și trebuie estimată și inclusă în Balanța Apei în consecință. Atunci când este furnizată pe o bază tolerată, dar autorizată informal — o situație comună în sistemele care se urbanizează rapid — utilitatea ar trebui să ia o decizie formală privind clasificarea și să o documenteze: tratarea acestei ape ca Consum Neautorizat sau lăsarea neclasificată va umfla sistematic atât estimările Pierderilor Aparente, cât și Pierderilor Reale. În oricare dintre cazuri, volumul ar trebui estimat folosind numărătoarea populației comunitare, ratele reprezentative de consum pe cap de locuitor pentru tipul de ofertă și durata ofertei pe durata perioadei de analiză. Doar atunci când conexiunile au fost realizate complet fără cunoștințe sau toleranțe ale utilității, furnizarea ar trebui clasificată ca Consum Neautorizat în cadrul Pierderilor Aparente.

Când UAC este măsurat, volumele înregistrate pentru perioada de analiză trebuie extrase direct. Atunci când nu este măsurată — ceea ce este cazul majorității activităților de întreținere — volumele trebuie estimate folosind, în ordinea preferinței: înregistrări operaționale ale activităților cunoscute din acea perioadă, cum ar fi evenimentele de spălare a conductelor, curățarea rezervoarelor și incidentele de incendiu; standarde tehnice adecvate contextului local, cum ar fi cadrul Astee (2011), care oferă volume standard pe tip de activitate; sau valori procentuale implicite ca ultimă soluție.

Atunci când valorile implicite sunt aplicate, următoarele cifre referențiate internațional oferă o bază pentru evaluare. Niciun implicit unic nu este universal aplicabil — fiecare reflectă circumstanțe naționale, obiective și definiții diferite ale ceea ce constituie consumul autorizat (Vermersch et al., 2016):

- ◆ 1,25% din apa aprovizionată: mediana a 23 de utilități din Anglia și Țara Galilor (OFWAT, 2002–03); de asemenea, implicit AWWA M36 pentru UAC fără contor (AWWA, 2016).
- ◆ 0,5% din Apă Furnizată: implicit adoptat de Asociația Serviciilor de Apă din Australia și Asociația Noii Zeelande pentru Apă și Deșeuri (2010).
- ◆ 0,5% din consumul contorat facturat, excluzând apa exportată: plafonul maxim recomandat pentru evaluările inițiale de ansamblu conform documentului de referință al UE privind Bunele Practici privind Managementul Scurgerilor (2015).

Dintre acestea, exprimarea UAC ca procent din consumul contorizat facturat, excluzând apa exportată, este de preferat față de un procent din volumul de intrare al sistemului sau din apa aprovizionată. Odată ce UAC este redus prin îmbunătățiri operaționale, reducerea volumului se transferă direct în Consumul Autorizat Facturat, menținând numitorul stabil și

făcând comparațiile în timp mai semnificative (Vermersch et al., 2016).

Această limitare generală este deosebit de acută la nivelul DMA. O singură sursă mare de UAC — o așezare informală, o facilitate municipală sau o fântână publică — poate reprezenta o pondere disproporționată din totalul UAC în raport cu volumul de intrare al sistemului DMA, ceea ce înseamnă că un procentaj general de default va produce o estimare substanțial incorectă, indiferent de valoarea de referință aleasă. Inventarul UAC, metoda de estimare aleasă, valorile presupuse și baza lor trebuie toate documentate explicit ca parte a înregistrării incertitudinii pentru Bilanțul Apei.

Pasul 5 — Estimarea pierderilor aparente

Pierderile aparente cuprind trei subcomponente distincte: consum neautorizat, inexactități ale contorului clienților și erori de gestionare a datelor. Deși acestea sunt adesea agregate într-un singur procentaj implicit la nivel de utilitate, această abordare este nesigură la nivel DMA și ar trebui evitată ca metodă principală de estimare. Un DMA este suficient de mic încât o singură conexiune neautorizată care deservește un consumator comercial sau industrial, sau un grup de contoare manipulate, poate reprezenta o fracțiune substanțială din volumul total de intrare al sistemului — depășind cu mult orice procent standard implicit. La fel, un DMA bine gestionat, cu contor inteligent și fără probleme cunoscute de integritate, poate avea pierderi aparent aproape zero la una sau mai multe subcomponente. Estimarea la nivel DMA ar trebui, așadar, să se bazeze pe investigații directe ori de câte ori este posibil, cu procenturile implicite rezervate subcomponentelor unde nu există informații mai bune.

Într-o rețea de multiple DMA-uri, nu este nici necesar, nici practic să se efectueze simultan o investigație detaliată a pierderilor aparente pentru fiecare DMA. Un screening la nivel de portofoliu ar trebui aplicat mai întâi folosind indicatori ușor disponibili — raportul MNF/AF (Secțiunea 4.2.1), procentul NRW dintr-un Balanț preliminar de Apă folosind ipoteze implicite sau analiza tendinței debitului de intrare în timp — pentru a identifica DMA-urile cu cel mai mare risc aparent de pierdere sau cele mai semnificative tendințe de deteriorare. Investigația detaliată folosind metodele descrise mai jos ar trebui să se concentreze pe acest subset prioritar. Într-o rețea tipică, o minoritate de DMA-uri reprezintă majoritatea totalului NRW, iar direcționarea resurselor de investigație în consecință va produce estimări mai fiabile ale Bilanțului de Apă în portofoliu decât aplicarea uniformă a metodelor slabe la fiecare DMA. Pe măsură ce fiecare DMA prioritar este investigată, estimarea pierderii aparente specifică DMA înlocuiește presupunerea implicită în calculele ulterioare la nivel de portofoliu, îmbunătățind progresiv acuratețea bilanțului general al apei fără a necesita o investigație simultană la nivelul întregii rețele.

Consum neautorizat

Consumul neautorizat se împarte în trei categorii, fiecare necesitând o abordare diferită de detectare (Carteado & Vermersch, 2016):

- ◆ Consumul de către consumatorii neînregistrați — cei care au făcut conexiuni fără a apărea în baza de date a utilității.
- ◆ Consumul de către consumatorii înregistrați care comit fraudă prin manipularea contorului, ocolire sau reconectare neautorizată după deconectare.

- ◆ Furt de la echipamentele de rețea, cum ar fi hidranții și supapele de evacuare.

Nivelul de selecție a portofoliului

Într-un portofoliu DMA, primul pas este o analiză în loturi a bazei de date de facturare și clienți, care poate fi rulată simultan pe toate DMA-urile la costuri reduse și fără muncă de teren. Pentru fiecare DMA, analistul ar trebui să extragă:

- ◆ Numărul de conturi fără contoare.
- ◆ Numărul de conturi care arată un consum zero sau anormal de scăzut pentru două sau mai multe perioade consecutive de facturare.
- ◆ Numărul de conturi înregistrate ca fiind deconectate pentru neplată care nu au solicitat reconectarea oficială.
- ◆ Numărul de conturi al căror consum nu prezintă variații sezoniere pe o perioadă de douăsprezece luni.

Acești indicatori nu cuantifică direct consumul neautorizat — ei identifică DMA-urile acolo unde riscul este crescut și unde investigațiile detaliate sunt susceptibile să fie productive. DMA-urile în care acești indicatori se grupează geografic, depășesc ratele prag definite local sau prezintă o tendință de deteriorare pe perioade succesive ar trebui adăugate pe lista de investigații prioritare. Pentru DMA-urile fără prioritate, o presupunere implicită de 0,1% din Apa Aprovizionată (Lambert & Taylor, 2010; Vermersch et al., 2016) sau valoarea de referință aplicabilă local, cu înțelegerea explicită că această cifră va fi înlocuită cu o estimare directă odată ce DMA va fi investigată.

Investigația prioritară DMA

Pentru DMA-urile identificate ca priorități, evaluarea urmează o secvență în două etape. Prima etapă extinde indicatorii de screening într-o revizuire sistematică a bazei de date: categorii de conturi marcate

— conturi cu consum zero, conturi deconectate fără cereri de reconectare, conturi cu consum incredibil de stabil — sunt extrase și numărate, iar distribuția lor geografică în cadrul DMA este cartografiată pentru a identifica concentrațiile spațiale ale riscului.

A doua etapă este o campanie de teren menită să stabilească ratele de anomalii atât pentru categoriile marcate, cât și pentru populația generală DMA. Campania ar trebui să acopere 3–5% dintre clienți, structurată astfel încât categoriile de conturi marcate să fie eșantionate cu o intensitate mai mare decât proporția lor în populația DMA justifică, în timp ce restul eșantionului este selectat pentru a reprezenta întreaga gamă de tipuri de proprietăți, zone geografice și condiții sociale din cadrul DMA (Carteado & Vermersch, 2016). Pentru fiecare cont vizitat, sondajul înregistrează:

- ◆ Prezența și starea aparatului.
- ◆ Dovezi ale ocolitoarelor, sigilii manipulate sau contoare inversate.
- ◆ Conexiuni neînregistrate.
- ◆ Discrepanțe între situația de pe teren și baza de date a clienților.

Din acest eșantion stratificat, se fac două extrapolări: rata de anomalii din fiecare categorie semnalată, aplicată numărului complet al conturilor semnalate; și rata de anomalii de fond în populația generală, aplicată conturilor nemarcate. Suma acestor două extrapolări oferă volumul estimat de consum neautorizat pentru DMA, împreună cu o indicație dacă un recensământ mai cuprinzător este necesar.

În DMA-urile care conțin așezări informale sau zone cu venituri foarte mici, metodele standard de detectare nu sunt, în general, aplicabile. Condițiile tehnice și administrative care fac analiza bazelor de date și sondajele de teren ușor de gestionat — un registru de clienți întreținut, instalări de contoare accesibile, condiții sigure de operare pentru personalul de teren — lipsesc frecvent. În aceste domenii, evaluarea necesită o abordare atât sociologică, cât și tehnică, cu participarea comunității și implicarea cu asociațiile locale fiind o parte esențială a oricărei investigații (Carteado & Vermersch, 2016). Clasificarea ofertei în aceste zone ca consum neautorizat sau UAC ar trebui să urmeze decizia de politică luată la Pasul 4.

Atunci când estimarea directă rămâne nefezabilă după screening și investigație, următoarele valori de referință pot fi aplicate ca ultimă soluție. Nicio valoare unică nu este potrivită pentru aplicarea uniformă într-un portofoliu DMA, iar în special în contexte de țări în curs de dezvoltare, consumul neautorizat este de obicei concentrat în DMA-uri specifice, nu distribuite uniform — aplicarea unei medii la nivelul întregului portofoliu pentru DMA-uri individuale va subestima pierderile în zonele cu risc ridicat și le va supraestima în cele bine gestionate:

- ◆ 0,1% din apă furnizată pentru sisteme cu dozare și aplicare robustă (Lambert & Taylor, 2010; Vermersch et al., 2016).
- ◆ 0,25% din apa furnizată acolo unde se aplică metodologia de audit AWWA (AWWA, 2016).
- ◆ 10% din NRW a fost citată pentru contexte de țări în curs de dezvoltare la nivel de utilitate (Mutikanga et al., 2011; Seago et al., 2004), dar această cifră nu ar trebui aplicată la nivel DMA fără verificare pe teren, deoarece consumul neautorizat în aceste contexte este de obicei concentrat în DMA-uri specifice, nu distribuite uniform.

Inexactități la contorul de clienți

Contoarele clienților subregistrează sistematic la debite mici și, în funcție de vârstă și tehnologie, pot subînregistra și la debite mari. La nivel DMA, estimarea inexactității contoarelor necesită o abordare diferită față de practica la nivel de utilitate, deoarece numărul mic de conturi înseamnă că un singur contor cu performanțe slabe — în special unul mare, non-domestic — poate domina estimarea subcomponentelor într-un mod pe care o medie la nivelul întregii utilități nu l-ar dezvălui niciodată.

Nivelul de selecție a portofoliului

Pentru DMA-urile fără prioritate, inexactitatea contorului poate fi estimată folosind un procentaj implicit aplicat diferențial în funcție de tehnologia contoarelor și de interval de vârstă, derivat din registrul activelor utilității și

Rezultatele programului de testare a contorului. Aplicarea unei singure valori implicite nediferențiate la toate tipurile de aparate nu este recomandată nici măcar la nivel de ecranare, deoarece intervalul de inexactitate dintre un aparat static nou și un fotometru de viteză vechi la același debit poate varia un ordin de mărime. Atunci când registrul de active deține suficiente informații pentru a stratifica contoarele după tehnologie și pentru a aproxima vârsta și volumul acumulat, o inexactitate medie ponderată poate fi calculată pentru fiecare DMA pornind de la rezultatele testelor la nivel de portofoliu fără a fi necesară testarea specifică DMA-ului.

Excepția la nivel de screening este reprezentată de contoarele mari non-domestice. Chiar și într-un calcul la nivel de portofoliu, contoarele mari non-domestice din fiecare DMA nu ar trebui incluse în presupunerea procentuală implicită. Ponderarea volumului lor este prea mare pentru ca eroarea rezultată să fie acceptabilă: un singur contor supradimensionat sau mare poate reprezenta o fracțiune substanțială din consumul total facturat în DMA, iar inexactitatea sa are un efect disproporționat asupra Pierderilor Reale reziduale. Contoarele non-domestice ar trebui astfel identificate individual în fiecare DMA, iar inexactitatea lor estimată separat — din datele din registrul activelor, rezultatele recente ale testelor sau analiza tiparelor de consum — indiferent dacă DMA se află sau nu pe lista de investigații prioritare.

Investigația prioritară DMA

Pentru DMA-urile prioritare, estimarea inexactității contoarelor ar trebui construită pe baza datelor specifice DMA-urilor, nu a valorilor implicite ale portofoliului. Primul pas este identificarea grupurilor dominante de metri în cadrul DMA — după tehnologie, diametru nominal, marcă și model, precum și banda aproximativă de vârstă sau volumul acumulat ca proxy — și testarea unui eșantion reprezentativ în cadrul fiecăruia. Curbele generice de acuratețe din datele producătorilor sau standardele naționale nu ar trebui înlocuite cu rezultatele testelor specifice DMA-urilor, deoarece performanța contorului depinde de regimul real de debit, calitatea apei și presiunea de operare a DMA-ului specific, niciuna dintre acestea nefiind surprinsă în profiluri generice. Înregistrarea datelor specifice DMA este puternic recomandată pentru profilurile de consum intern, deoarece tiparele de cerere la nivel DMA pot diferi semnificativ de mediile la nivelul utilității, în funcție de tipul proprietății, ratele de ocupare și caracteristicile cererii locale.

Contoarele non-domestice trebuie studiate individual. Un singur contor comercial sau industrial mare poate reprezenta o fracțiune substanțială din consumul total facturat și profilul său de inexactitate

— de obicei diferit de contoarele domestice atât în direcție, cât și în mărime și adesea implicând subînregistrări sistematice la sarcină parțială — are un efect disproporționat asupra estimării generale. Identificarea și caracterizarea individuală chiar și a unui singur contor mare, non-domestic, poate schimba semnificativ estimarea inexactității contorului într-un mod care reflectă corect unde are loc de fapt pierderea prin măsurare (Carteado & Vermersch, 2016). Atunci când datele contoarelor inteligente sunt disponibile, compararea citirilor individuale ale contoarelor cu profilurile de consum așteptate poate identifica contoarele subînregistrate fără a necesita testare fizică (UKWIR, 2024).

Deoarece eșantionul de contoare testate la nivel DMA este neapărat mic, estimarea rezultată are o incertitudine relativă mai mare decât o valoare la nivel de utilitate. Rezultatul ar trebui exprimat ca un interval, nu ca o estimare punctuală, iar incertitudinea să fie documentată ca parte a înregistrării incertitudinii Bilanțului Apelor (Capitolul 3, Secțiunea 3.3).

Ca o verificare încrucișată, estimarea inexactității contorului ar trebui validată în raport cu analiza debitului nocturn DMA: atunci când volumul de pierdere aparent implicit cauzat de inexactitatea contorului este mare în raport cu estimarea scurgerilor derivată din MNF, sau invers, inconsistența trebuie investigată înainte de finalizarea bilanțului de apă. Orice campanie de audit a contoarelor ar trebui să includă simultan o verificare diagnostică a dimensiunii și stării contorului, deoarece contoarele supradimensionate sunt o sursă frecventă de subînregistrare semnificativă, care este tehnic o eroare de măsurare, nu o fraudă (Carteado & Vermersch, 2016).

Pasul 6 — Calcularea pierderilor reale

Pierderile reale sunt calculate ca reziduul Bilanțului de Apă:

$$\text{Pierderi reale} = \text{SIV} - \text{Consum autorizat facturat} - \text{Consum autorizat nefacturat} - \text{Pierderi aparente}$$

Alternativ, unde este necesară doar o figurină NRW de nivel superior:

$$\text{NRW} = \text{SIV} - \text{Consum autorizat facturat}$$

unde $\text{NRW} = \text{Pierderi reale} + \text{Pierderi aparente} + \text{Consum autorizat nefacturat}$.

Prima ecuație izolează pierderile reale, dar necesită ca Pașii 4 și 5 să fi fost finalizați cu suficientă încredere. A doua ecuație este întotdeauna calculabilă, dar lasă cele trei componente NRW nediferențiate. Trecerea de la a doua la prima necesită estimarea independentă a Consumului Autorizat Nefacturat și a Pierderilor Aparente, așa cum este descris în Pașii 4 și 5.

Pasul 7 — Evaluează și documentează incertitudinea

Fiecare componentă a Echilibrului Apei poartă incertitudine. Volumul de Intrare al Sistemului transportă incertitudinea de măsurare cuantificată folosind cadrul din Capitolul 3. Consumul Autorizat Facturat poartă incertitudine din cauza inexactităților contoarelor, presupunerii de proporție și nepotrivirile de granițe spațiale dintre zonele de facturare și granițele DMA. Consumul Autorizat Nefacturat și Pierderile Aparente sunt frecvent estimate din valorile de neplată și poartă cea mai mare incertitudine relativă dintre toate componentele. Incertitudinea combinată privind estimarea Pierderilor Reale ar trebui calculată folosind propagarea erorii sau simularea Monte Carlo (Capitolul 3, Secțiunea 3.2.9) și raportată împreună cu rezultatul. O estimare a Pierderilor Reale prezentată fără un interval de incertitudine ar trebui tratată ca aproximativă.

4.2.3 ANALIZA DEBITULUI MINIM DE NOAPTE

Scurgerea este determinată cel mai precis atunci când consumul de către clienți este minim, ceea ce de obicei are loc noaptea. Acesta este principiul Analizei Debitului Minim de Noapte (MNF), recomandat inițial în Raportul 26 (UKWIR, 1980) și acum aplicat la nivel mondial. Metoda se bazează pe observația că debitul nocturn al DMA la cel mai scăzut punct constă predominant din scurgeri în rețea, consumul clienților fiind redus la un reziduu mic și

estimat.

Monitorizarea tendințelor MNF

Monitorizarea MNF în timp oferă un indicator continuu al nivelului de scurgere și un avertisment timpuriu privind noi explozii. Într-un DMA stabil și bine definit, consumul orar MNF este așteptat să fie aproximativ constant, astfel încât orice deplasare susținută în sus semnalează fie o nouă explozie (schimbare rapidă a pasului), fie o scurgere de fond în creștere (creep gradual). Figura 4-12 ilustrează acest lucru din practica operațională.

Figura arată trei faze. În perioada inițială, un comportament foarte stocastic a rezultat din supapele pe conducte mai mari care nu erau complet închise sau aveau scurgeri; după înlocuirea supapei, MNF s-a stabilizat la un nivel ridicat, cu variații moderate de la o zi la alta. Un program ulterior de studii și reparații a redus progresiv nivelul de bază. După opt luni de intervenție, această zonă a ajuns să funcționeze stabil cu MNF limitată într-un interval îngust și constant.

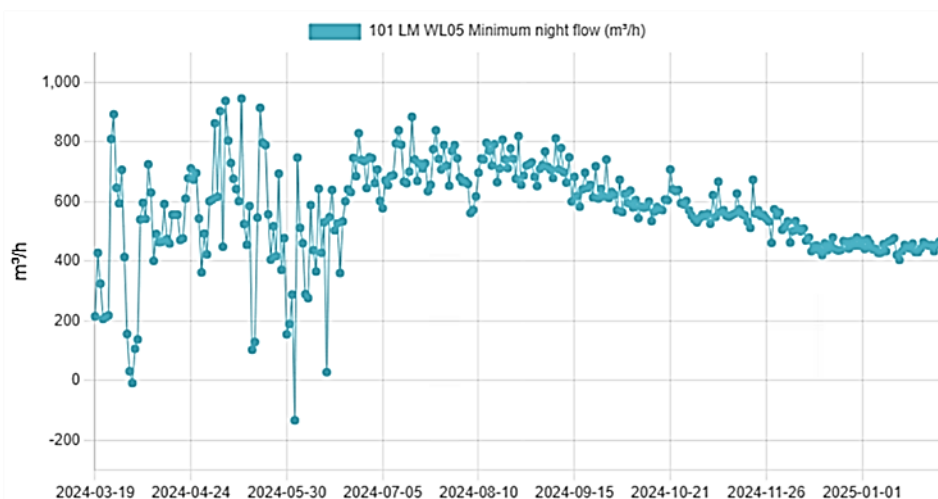


Figura 4-12 Monitorizarea tendințelor MNF

Variabilitatea zilnică a înregistrărilor MNF este normală și ar trebui așteptată. Studii empirice din Anglia și Țara Galilor au constatat că utilizarea pe timp de noapte variază cu $\pm 60\text{--}70\%$ de la o zi la alta — de trei până la patru ori mai variabilă decât consumul zilnic — ca o consecință directă a naturii stocastice a evenimentelor de consum al apei în perioada de noapte (UKWIR, 2008a). O citire de o singură noapte este, prin urmare, o bază nesigură pentru estimarea scurgerii; Doar o tură susținută pe parcursul mai multor nopți consecutive justifică un răspuns operațional.



Pragurile de alertă operațională trebuie stabilite în raport cu baza MNF stabilită și evaluate pe parcursul a cel puțin trei până la cinci nopți consecutive înainte de a declanșa un răspuns de teren, pentru a evita alarmele false pozitive cauzate de variabilitatea normală de la o noapte la alta.

Înregistrarea MNF prezentată mai sus urmărește debitul total care intră în DMA la cel mai jos punct al său în fiecare noapte — este ceea ce măsoară contorul. Totuși, nu măsoară direct scurgerile. The

MNF înregistrat este suma mai multor componente distincte cu origini fizice diferite și grade diferite de controlabilitate, iar doar una dintre aceste componente — Utility Night Leakage — este cantitatea țintă a analizei. Estimarea acestora necesită identificarea și scăderea celorlalți. Figura 4-13 dezmembrează MNF-ul înregistrat în cele patru componente componente ale sale pentru o succesiune de nopți din timpul săptămânii, ilustrând atât structura semnalului, cât și variabilitatea zilnică care face ca problema estimării să nu fie trivială.

Descompunerea semnalului MNF

Baza semnalului — componenta care rămâne când toată activitatea clienților încetează — este Utility Night Leakage (UNL), scurgerea rețelei de la rețea, conexiunile de serviciu și echipamentele către contorul clientului. UNL este continuu, dependent de presiune și persistent până la efectuarea unei reparații. Partea de MNF atribuită UNL — adică MNF-ul după scăderea consumului nocturn (NC) — este denumită Scurgere în timpul orei MNF (LMNF) și este principalul rezultat al analizei.

Imediat deasupra se află Scurgerile de Noapte ale Clientului (CNL): debite continue persistente, la nivel scăzut, pe partea clientului a contorului — cozi de supapă plutitoare care reumpleau rezervoarele de colectare, picături interne și pierderi mici la instalații sanitare, cum ar fi robinetele care picură. Aceste fluxuri sunt indistincte de scurgerile de rețea în semnalul de curgere DMA; acestea sunt pierderi reale, dar acestea se află dincolo de contorul utilității și trebuie scăzute din MNF ca parte a alocăției de consum de noapte, nu contabilizate ca scurgeri de rețea (UKWIR, 2008b).

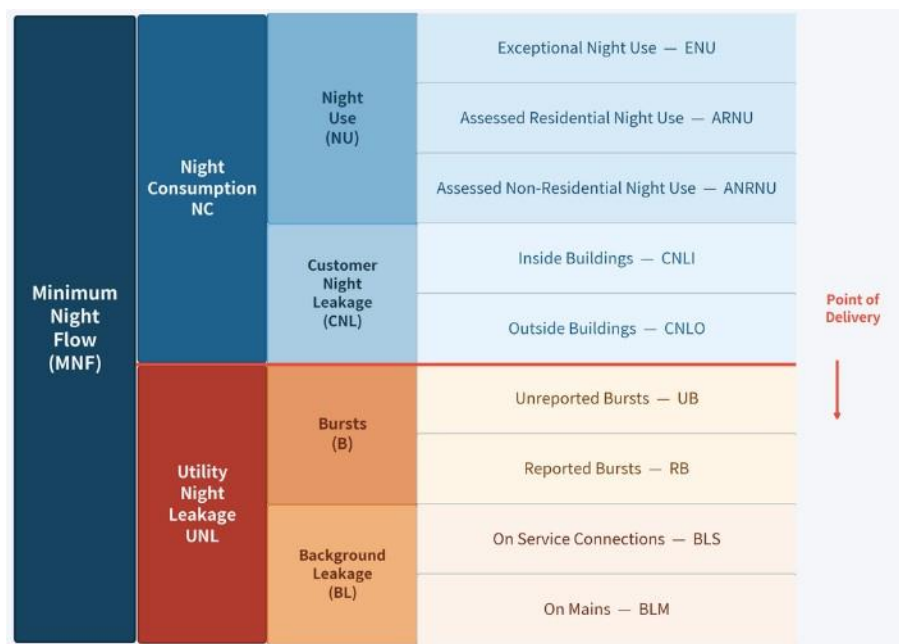


Figura 4-13 Descompunerea componentelor MNF

Împreună, UNL și CNL formează baza continuă a debitului nocturn — nivelul la care semnalul DMA s-ar stabiliza dacă orice utilizare deliberată a apei s-ar opri. Suprapus la această bază este

Utilizare de noapte (NU): debitele intermitente din evenimentele de consum al apei în gospodărie, cum ar fi tragerea apă de toaletă, robinetele, aparatele electrocasnice și căile sau dușurile.

Spre deosebire de UNL și CNL, NU nu curge continuu. Sosește sub formă de impulsuri discrete, separate de perioade de tăcere. Această structură a impulsurilor este ceea ce face NU apreciabil — dar și ceea ce face estimarea sensibilă la dimensiunea DMA și intervalul de înregistrare.

Într-un DMA mic înregistrat la rezoluție fină, golurile dintre impulsuri sunt suficient de mari pentru a fi vizibile în date. În acele momente, debitul scade la linia de bază continuă reală — UNL plus CNL — iar minimul poate fi citit direct. Aceasta este componenta vizibilă a NU: este practic transparentă la ora MNF.

Pe măsură ce DMA crește, tot mai multe gospodării sunt active, iar pulsurile ajung mai frecvent. În cele din urmă, golurile se închid și debitul nu mai revine niciodată la linia de bază reală pe timpul nopții. Un reziduu al evenimentelor suprapuse este întotdeauna prezent, indiferent cât de atent este selectată ora MNF. Această componentă suprapusă nu poate fi observată — trebuie estimată ca o cotă fixă (UKWIR, 2008b).

Atât dimensiunea DMA, cât și intervalul de jurnalizare determină cât de mult NU se încadrează în fiecare categorie. Consecințele practice pentru perioada de măsurare și rezoluția datelor sunt discutate în Secțiunea 2.3.

Consumul de noapte (NC) este suma NU și CNL. Scurgerea în timpul orei MNF (LMNF) este, prin urmare:

$$L_{MNF} = MNF - NC = MNF - NU - CNL$$

Pentru DMA-urile non-gospodării sau mixte, trebuie luate în considerare două componente suplimentare: utilizarea intermitentă non-gospodărie, care nu poate fi modelată statistic și necesită investigație locală; și utilizarea continuă non-casnică (sisteme de răcire, spitale, procese industriale), care este persistentă, dificil de separat de scurgeri și necesită teste specifice de teren sau măsurare pentru a fi cuantificată (UKWIR, 2008b). Restul acestei secțiuni se referă la DMA-urile destinate exclusiv gospodăriilor.

Selecția datelor și calculul MNF

Fereastră sezonieră de oportunitate

Ora MNF — și, prin urmare, perioada consumului minim — nu este fixată universal și trebuie identificată din datele locale. Modelele sezoniere ale consumului modifică momentul și adâncimea minimului nopții, iar cele mai fiabile estimări ale scurgerilor sunt obținute atunci când consumul este la cel mai scăzut nivel anual (Fantozzi & Lambert, 2011). În climatele mediteraneene, acest lucru corespunde de obicei lunilor mai reci (octombrie - aprilie); în zonele temperate din emisfera sudică, perioada echivalentă este iunie - septembrie; în climatele nord-europene variația sezonieră este mai mică, iar monitorizarea poate fi efectuată pe tot parcursul anului. În toate cazurile,

Fereastra optimă ar trebui confirmată prin inspecția a cel puțin un an întreg de date înregistrate privind debitul înainte de a fi proiectată o campanie de măsurare.

Selecția în timpul săptămânii și perioada minimă

Fluxurile nocturne din timpul săptămânii și cele din weekend diferă sistematic. Ora dominantă de consum minim de noapte în Danemarca a fost 03:00–04:00 în zilele lucrătoare și 04:00–05:00 în weekend, cu MNF în weekend constant mai mică decât în zilele lucrătoare (Kirstein et al., 2022); modele similare au fost găsite în Marea Mediterană, unde 03:00–05:00 a definit fereastra MNF (Estrada et al., 2022). Pentru monitorizarea tendințelor, MNF-urile din timpul săptămânii ar trebui folosite exclusiv pentru a evita efectele de weekend, iar mediana valorilor zilnice ar trebui folosită, în locul mediei aritmetice, care este sensibilă la valorile aberante produse de distribuția nenormală a consumului nocturn (Fantozzi & Lambert, 2011).

Este necesară o perioadă minimă de măsurare de două săptămâni de date stabile înainte ca o estimare a scurgerilor bazată pe MNF să fie folosită pentru deciziile operaționale. Această fereastră este suficient de lungă pentru ca utilizările continue la scară largă, nepersistente — udarea grădinii, revărsările cisternelor — să se finalizeze și să fie excluse din minimul, fiind totodată suficient de scurtă încât o nouă explozie să fi fost puțin probabil să fi apărut și reparat în acea perioadă (UKWIR, 2008b). Evidențele de reparații trebuie verificate pentru a confirma că nu au fost detectate și remediate scurgeri noi în timpul ferestrei de măsurare.



Pentru DMA-urile care deserveșc comunități majoritar musulmane, nopțile din timpul Ramadanului ar trebui excluse din analiza MNF sau analizate separat. Utilizarea apei înainte de răsărit pentru masa Suhoor crește semnificativ debitul de noapte, efectul variază de la an la an în funcție de momentul răsăritului, iar indicatorii socio-demografici standard sunt predictorii nesiguri ai magnitudinii sale (UKWIR, 2008a). Fereastra MNF poate fi mutată cu o oră înainte de perioada de dinaintea zorilor pentru DMA-urile afectate în timpul Ramadanului.

Intervalele de înregistrare.

Sistemele SCADA tipice logică debitele medii la intervale de 10, 15 sau 60 de minute. Într-un DMA mic, evenimentele individuale de consum pot fi separate de perioade adevărate de flux zero care durează doar secunde sau minute. O medie de 15 minute acoperă mai multe astfel de evenimente și intervalele lor intermediare, producând un minim aparent mai mare decât valoarea reală de bază a scurgerilor. Rezultatul este că valoarea MNF extrasă din datele standard SCADA supraestimează fluxul minim real, iar modificările densității sau momentului consumului pot deplasa MNF-ul înregistrat fără nicio modificare a scurgerii — creând alarme false pozitive sau mascând creșteri reale ale scurgerii (Bruns et al., 2026; UKWIR, 2008b). Atunci când datele de înaltă rezoluție stocate pe dispozitivul de debitmetru sunt accesibile — de exemplu prin aplicație mobilă sau comunicare în câmp apropiat — acestea ar trebui folosite în locul înregistrărilor SCADA mediate pentru determinarea MNF în DMA-uri mici.

Estimarea consumului de noapte

Estimarea NC este cel mai susceptibil pas la eroare în Analiza MNF, iar calitatea estimării NC determină direct calitatea estimării scurgerii. Sunt disponibile trei abordări, în ordine descrescătoare a fiabilității:

Abordarea 1 — Măsurare directă din datele unui contor inteligent sau AMR (preferată)

În timp ce contoarele individuale ale clienților înregistrează consumul la intervale orare sau mai mici, NC poate fi divizat direct în componentele sale folosind metode algoritmice. Metodologia PROFUGA (Estrada et al., 2022) aplică un algoritm de prag bazat pe mediană datelor orare ale contoarelor inteligente pentru a separa fluxurile continue de bază — corespunzătoare CNL — de evenimentele intermitente corespunzătoare NU. Aplicată la aproximativ 20.000 de clienți rezidențiali într-un oraș mediteranean, această abordare a identificat o medie CNL de 0,53 L/h/client și o medie NU de 0,92 L/h/client, fereastra 03:00–04:00 oferind cea mai clară separare. Dezagregarea a fost constantă în cinci subsectoare, susținând utilizarea sa la scară de portofoliu.

Chiar și cu datele contorului inteligent, intervalul de înregistrare afectează NC-ul măsurat. Studii din nordul Chinei au constatat că datele pe 30 de minute au produs estimări MNC cu aproximativ 14% mai mici decât cele de 60 de minute, deoarece intervalele mai fine surprind mai multe dintre adevăratele diferențe inter-evenimente pe care medierea mai grosieră le ascunde (Xu et al., 2024). Valorile de referință NC și măsurătorile MNF trebuie, prin urmare, să folosească intervale de jurnalizare potrivite pentru a produce estimări consistente ale LMNF.

Abordarea 2 — Studiu de teren folosind jurnalizare cu flux rapid

Atunci când datele contoarelor inteligente nu sunt disponibile, un eșantion de contoare pentru clienți din DMA poate fi înregistrat rapid la intervale scurte (unu până la cinci minute) în fereastra MNF. Acest lucru permite identificarea evenimentelor individuale de consum și estimarea componentei suprapuse din distribuția statistică a eșantionului. Eșantionul ar trebui stratificat după tipul cererii (rezidențial, comercial, instituțional) și ar trebui să fie suficient de mare pentru a surprinde gama de comportamente prezente. Această abordare oferă, de asemenea, valori de referință specifice DMA pentru Consumul de Noapte al Clientului (CNC).

Abordarea 3 — Valori de referință (folosiți cu prudență)

Atunci când nici măsurătoarea directă, nici sondajul de teren nu este practic, NC poate fi estimat folosind valorile de referință publicate pentru Consumul de Noapte al Clientului (CNC) aplicate compoziției cunoscute a DMA-ului pentru clienți. Tabelele 4-4 oferă valori de referință din literatură. Aceste valori nu sunt interschimbabile: au fost obținute la scări diferite, cu intervale de înregistrare diferite, în contexte climatice și culturale diferite și folosind definiții diferite ale componentelor. Înainte de a aplica orice valoare de referință, practicianul trebuie să verifice că intervalul de înregistrare folosit pentru a deduce referința corespunde cu intervalul folosit pentru măsurarea MNF și că definiția componentei (NC total, NU doar sau doar CNL) corespunde cu ceea ce este necesar pentru analiză.

Clasamentul 4-4 Metode de estimare a consumului de noapte al clienților.

Context / geografie	Valoarea CNC	Componentă	Interval de jurnalizare	Scară	Sursă
Marea Britanie — rezidențial	1.7 L/h/gospodărie	NC total (intermitent + continuu)	60 min	Mare	Raportul E privind gestionarea scurgerilor în Marea Britanie (1994) prin Fantozzi & Lambert (2011)
Marea Britanie — non-rezidențial	7.4 L/h/proprietate (medie ponderată)	Total NC	60 min	Mare	Raportul E privind gestionarea scurgerilor în Marea Britanie (1994) prin Fantozzi & Lambert (2011)
Marea Britanie — pierderi interne la instalații sanitare	1.4 L/h/gospodărie	CNL în interiorul clădirilor (persistent continuu)	—	Sondaje ale companiilor	UKWIR (2018a)
Malaezia — Rezidențial	5.0 L/h/proprietate	Total NC	60 min	Nu este menționat	Fantozzi & Lambert (2011)
Germania / Austria — rezidențial	0.4–0.8 L/h/person	Total NC	60 min	Mare	DVGW (2003); ÖVGW (2009) via Fantozzi & Lambert (2011)
Danemarca — Rezidențial	Vezi Kirstein et al. (2022) Tabelul 4-3a	Total NC	60 min	~6.000 Metri	Kirstein et al. (2022)
Mediterraneană — rezidențială (doar pentru utilizare intenționată)	0.92 L/h/client	Doar utilizare evaluată pe timp de noapte (NU)	60 min	~20.000 Clienți	Estrada et al. (2022)
Mediterranean — rezidențial (doar scurgeri pe partea clientului)	0.53 L/h/client	CNL doar în interiorul clădirilor	60 min	~20.000 Clienți	Estrada et al. (2022)
Nordul Chinei — rezidențial	~0,70 L/h/gospodărie	Total NC	30 min	≥4.000 Zile-gospodărie	Xu et al. (2024)

Note pe Tabelele 4-4:

- Nu există o valoare standard universală pentru CNC și probabil nu va exista, având în vedere sensibilitatea utilizării nocturne la climă, cultură, tipul proprietății, ocuparea și stocul de electrocasnice (Fantozzi & Lambert, 2011).
- Reperul de 17% din consumul mediu zilnic (UKWIR, 2008a) este un instrument de normalizare pentru ajustarea spațială a NC-ului între DMA-uri în cadrul unei companii care și-a calibrat deja NC-ul de bază din măsurare. Nu este un substitut pentru măsurare și nu ar trebui folosit ca estimare primară a NC pentru un DMA individual.
- Valorile Estrada et al. (2022) de 0,53 și 0,92 L/h/client reprezintă CNL și NU pe partea clientului respectiv — nu scurgeri de rețea. Aplicarea lor fără această distincție va subestima NC-ul total.

Metoda Consumului Mediu de Noapte Rezidențială (ARNC) (Fantozzi & Lambert, 2011) construiește analitic un reper pentru consumul de noapte așteptat, fără a necesita date de la contoarele inteligente sau un sondaj de teren. Separă NC în două categorii de intrări disponibile din înregistrările standard ale clienților.

Componentele bazate pe oameni acoperă utilizări care necesită ca rezidentul să fie treaz — tragerea apă la toaletă, robinetele, dușurile. La ora MNF, doar o mică fracțiune dintre rezidenți este activă; studiile empirice sugerează aproximativ 3% în intervalul 02:00–04:00 (Fantozzi & Lambert, 2011). Distribuția binomială este folosită pentru a modela acest lucru, tratând fiecare rezident ca fiind independent activ cu o probabilitate mică, în loc să presupună o contribuție uniformă pentru toți ocupanții.

Componentele bazate pe proprietate sunt independente de ocupare — reumplerea rezervoarelor de stocare, aparatele controlate cu temporizator și debite persistente la nivel jos provenite din cozile supapelor plutitoare. Acestea sunt estimate pe proprietate și corespund componentei CNL din cadrul WLSG.

Reperul ARNC este suma ambelor categorii pentru toți rezidenții și proprietățile din DMA. Dacă MNF-ul înregistrat este aproape de ARNC, sistemul funcționează normal; un exces susținut indică o scurgere dincolo de nivelul de bază așteptat. Modelul binomial oferă, de asemenea, o măsură naturală a variabilității în jurul reperului, ceea ce este deosebit de important în DMA-uri mici, unde fluctuațiile de la o noapte la alta sunt mari în raport cu media — un punct discutat mai departe în Secțiunea 4.2.4

Abordarea 5 – Raportul dintre utilizarea pe timp de noapte și utilizarea zilnică

O altă modalitate de a estima consumul de noapte este să îl bazăm pe proporția consumului zilnic. Deși nu știm cu siguranță cât din debitul nocturn se datorează pierderii reale (scurgeri) și cât consumului de noapte al clientului, ceea ce știm sigur este că debitul DMA peste debitul minim de noapte trebuie să fie cauzat de consumul clientului.

Raportul dintre consumul de noapte și consumul mediu zilnic poate fi de obicei între 10% și 20%. Trebuie menționat că atunci când vorbim despre utilizarea nocturnă în această abordare, ne referim la utilizarea intermitentă pe timp de noapte, nu la debite continue, cum ar fi pierderile interne ale instalațiilor sanitare. Un exemplu grafic al acestei abordări este prezentat în *Figura 4-14* de mai jos.

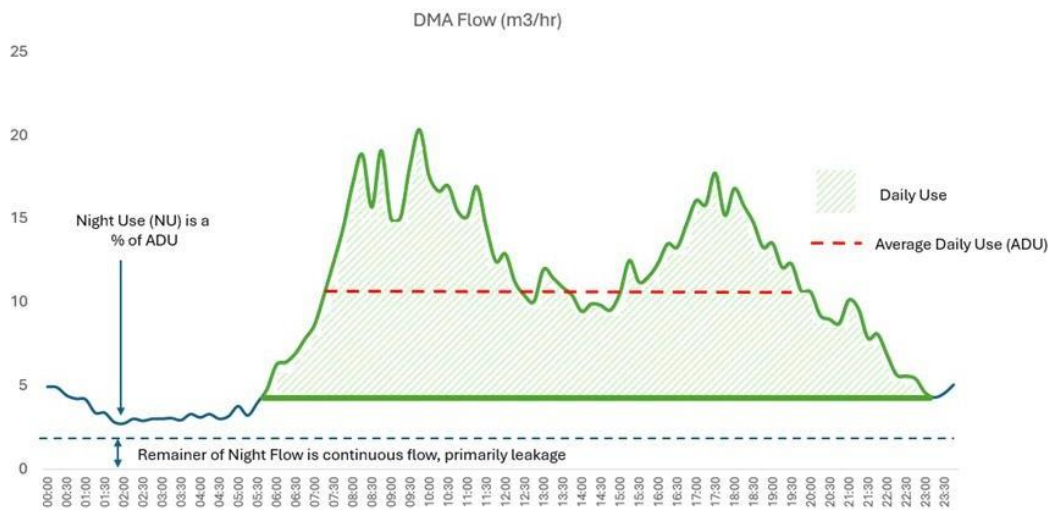


Figura 4-14 Un exemplu grafic al abordării raportului dintre utilizarea de noapte față de utilizarea zilei (Sursa: Mikal Willmott și Stuart Trow).

Clienți non-casnic

Deși această secțiune se concentrează pe DMA-urile destinate doar gospodăriilor, majoritatea DMA-urilor operaționale conțin câțiva clienți care nu sunt casnici, iar fluxurile lor nocturne necesită tratament separat înainte ca analiza MNF să poată continua. Clienții care nu sunt casnici se împart în două categorii cu implicații diferite.

- ◆ Utilizarea intermitentă non-casnică — din spații comerciale mici, birouri sau unități de retail — poate fi, în general, tratată la fel ca utilizarea intermitentă a gospodăriei, cu condiția ca numărul acestor clienți să fie mic în raport cu populația totală DMA și evenimentele lor individuale de utilizare nocturnă să nu fie excepțional de mari. Atunci când un singur client non-casnic generează fluxuri care domină profilul de noapte DMA, acesta ar trebui măsurat individual și contribuția sa scăzută înainte de analiză.

- ◆ Utilizarea continuă în afara gospodăriei este cazul mai critic. Sistemele de răcire, spitalele, hotelurile, facilitățile de procesare a alimentelor și locațiile similare trag apă continuu pe timpul nopții, la viteze care sunt indistincte de scurgerile rețelei în semnalul de curgere DMA. Spre deosebire de CNL-ul gospodăriilor, aceste fluxuri nu pot fi modelate statistic, nu pot fi eliminate prin prelungirea perioadei de măsurare și nu pot fi estimate din tabele de referință. Acestea necesită investigații individuale de teren — fie submăsurare directă a locațiilor, fie un test controlat, cum ar fi izolarea temporară combinată cu măsurarea debitului — înainte ca analiza MNF să fie realizată (UKWIR, 2008b). Neglijarea utilizării continue în afara gospodăriei este una dintre cele mai frecvente surse de supraestimare a scurgerilor în practica operațională.

Dependența de scară și perioada necesară de măsurare

Cea mai semnificativă limitare a abordărilor de valoare de referință este dependența de scară. NC estimat din fluxurile înregistrate de DMA nu este o proprietate fixă a unui DMA, ci crește sistematic odată cu numărul de date-gospodărie incluse în estimare, deoarece eșantioanele mai mari conțin mai multe evenimente de consum suprapuse care ridică minimul aparent. Studii din nordul Chinei folosind 2,32 milioane de înregistrări pe zi de gospodărie au constatat că MNC s-a stabilizat doar la aproximativ 4.000 de zile-gospodărie de date, atingând o valoare de ~0,70 L/h/gospodărie la intervale de 30 de minute (Xu et al., 2024). Sub acest prag, NC este subestimat și, în consecință, scurgerile sunt supraestimate. Aplicarea unei valori de referință derivate dintr-un set de date mare la un DMA mic măsurat pe o perioadă scurtă introduce o eroare sistematică; subestimarea anuală a scurgerii a fost cuantificată la aproximativ 374 m³ per DMA pe an pentru DMA-urile sub pragul de stabilitate (Xu et al., 2024).

Pragul de 4.000 de gospodării-zi se traduce în perioade practice de măsurare astfel:

- ◆ 500 de gospodării → minimum 8 zile
- ◆ 200 de gospodării → minimum 20 de zile
- ◆ 100 de gospodării → minimum 40 de zile

Pentru DMA-uri mici, în intervalul 50–100 de gospodării, perioada necesară depășește semnificativ minimul de două săptămâni pentru eliminarea utilizării continue și se apropie de intervalul de timp în care scurgerile pot varia. Pentru astfel de DMA-uri, estimarea scurgerii implică o incertitudine inerentă ridicată și trebuie tratată corespunzător (vezi Capitolul 3 — Incertitudinea și calitatea datelor în analiza pierderilor de apă bazate pe DMA).

Acest efect de dependență de scară este o consecință directă a structurii vizibile/suprapuse a consumului nocturn descrisă în cadrul componentelor de mai sus: în DMA-uri mici, o cantitate mai mare din consumul intermitent este vizibilă și poate fi rezolvată la intervale fine de jurnalizare, dar există mai puține date disponibile pentru a caracteriza în mod fiabil componenta suprapusă. Variabilitatea zilnică a utilizării nocturne — empiric $\pm 60\text{--}70\%$ — înseamnă că este necesar un număr mare de nopți înainte ca media NC să convergă către o valoare stabilă (UKWIR, 2008a).

Clienți mari cu pompe de amplificare

Un caz specific de utilizare continuă non-casnică, care merită menționat separat, este cel al clienților mari — centre comerciale, facilități industriale sau clădiri rezidențiale cu mai multe unități — care operează pompe de amplificare interne pentru a suplimenta presiunea de distribuție. Pompele de amplificare extrag apă din rețea în rafale scurte, cu debit mare, atunci când comutatoarele interne de presiune se activează, producând o semnătură caracteristică de curgere la intrarea DMA: vârfuri bruște repetate de scurtă durată, separate de intervale aproape zero, suprapuse peste profilul de debit DMA de bază. Dacă nu sunt identificate și scăzute, aceste vârfuri umflă MNF-ul înregistrat și produc o supraestimare sistematică a scurgerii.

Procedura de corectare este aceeași ca pentru orice client mare cu contor: instalează un datalogger dedicat la conexiunea de serviciu a sediului, sincronizat în timp cu contorul de intrare DMA, și scade fluxul înregistrat de clienți din fluxul DMA înainte de a efectua orice analiză MNF. Cerința de sincronizare este strictă — o decalare a timpului chiar și de câteva minute între logger-ul clientului și contorul de admisie DMA va împiedica scăderea precisă a vârfurilor bruște de activare ale pompei.

De la scurgeri nocturne la volum zilnic

Rezultatul analizei anterioare — L_{MNF} — este o rată orară de scurgere (volum/oră) estimată la ora MNF, în condițiile de presiune predominante la acel moment specific. Pentru a obține Scurgerile Medii Zilnice (volum/zi), acest tarif orar trebuie înmulțit cu Factorul Noapte-Zi (NDF), cunoscut și în Regatul Unit ca Factorul Oră-Zi:

$$\text{Scurgeri zilnice (m}^3\text{/day)} = LMNF(\text{m}^3\text{/h}) \times NDF$$

NDF este necesar deoarece presiunea rețelei — și, prin urmare, rata de scurgere — nu este constantă pe o perioadă de 24 de ore. Dacă presiunea medie de zonă ar fi perfect stabilă pe parcursul zilei, fiecare oră ar contribui la aceeași rată de scurgere ca ora MNF, iar NDF-ul ar egala exact 24 de ore pe zi. În practică, presiunea variază continuu cu ciclul de cerere diurnă, iar rata de scurgere la fiecare oră a zilei diferă de L_MNF proporțional cu raportul de presiune dintre acea oră și ora de referință MNF, crescut la puterea exponentului de scurgere de presiune $N1$. NDF acumulează aceste contribuții orare pe întreaga perioadă de 24 de ore:

$$NDF = \sum_{i=1}^{24} \left(\frac{AZP_i}{AZP_{MNF}} \right)^{N1}$$

unde AZP_i este Presiunea Medie a Zonei în timpul orei i , iar AZP_{MNF} este Presiunea Medie a Zonei la ora MNF — condiția de referință sub care a fost măsurată L_MNF .

Într-un sistem alimentat de gravitație fără control al presiunii, AZP este cel mai ridicat noaptea, când consumul este scăzut, și scade în timpul creșterii cererii de dimineață și după-amiază, pe măsură ce pierderile de frecare cresc în rețea (Figura 4-15). Ora MNF apare, așadar, în condiții de presiune peste medie: L_MNF este măsurată la o rată de scurgere mai mare decât rata medie susținută pe parcursul restului zilei. Înmulțirea cu 24 ar supraestima scurgerile zilnice. NDF corectează acest lucru prin reducerea multiplicatorului efectiv sub 24. Pentru un sistem gravitațional urban tipic, valorile NDF se situează în intervalul 20–23. Pentru sisteme gravitaționale cu pierderi mari de frecare — unde presiunile diurne scad substanțial față de noapte — sunt posibile valori NDF sub 12 ore/zi.

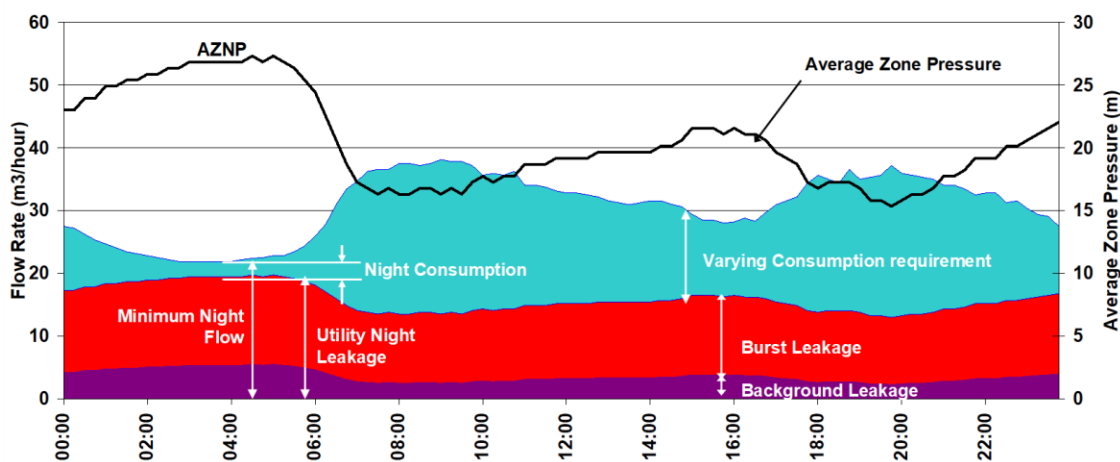


Figura 4-15 Variația zilnică a scurgerilor (Liemberger, 2002)

Într-un DMA gestionat de presiune, unde o supapă de reducere a presiunii funcționează cu modulație în timp sau flux, sau unde programarea pompei reduce deliberat presiunea pe timp de noapte, situația este inversată: presiunea este mai mică noaptea decât ziua. Ora MNF are loc acum în condiții de presiune sub medie, deci L_MNF subestimează rata medie de scurgere orară care prevalează pe parcursul majorității zilei. Înmulțirea cu 24 ar subestima scurgerile zilnice. NDF corectează acest lucru prin creșterea multiplicatorului efectiv peste 24. În sistemele de gestionare a presiunii cu flux modulată, au fost înregistrate valori NDF care depășesc 36 de ore pe zi.

Intervalul practic al NDF este, prin urmare, larg — de sub 12 până la peste 36 de ore/zi — iar alegerea multiplicatorului are un efect major asupra estimării zilnice a scurgerii. Folosirea valorii implicite de 24 fără a calcula NDF-ul real din datele de presiune poate introduce erori care nu sunt marginale: într-un sistem gravitațional cu frecare mare, înmulțirea cu 24 în loc de 12 dublează scurgerile zilnice estimate. Utilitățile trebuie să calculeze NDF-ul specific DMA din datele AZP înregistrate, în loc să presupună o implicită.

Calculul NDF necesită valori AZP orare pentru o perioadă reprezentativă completă de 24 de ore. Atunci când un registrator de presiune este instalat la AZP, aceste valori sunt citite direct. Acolo unde este disponibilă doar presiunea la limită, profilul diurn al AZP trebuie derivat dintr-un model hidraulic sau dintr-o deplasare a presiunii măsurată pe teren între limită și AZP. Incertitudinea în profilul AZP se propagă direct în NDF și în estimarea zilnică a scurgerii; acest lucru ar trebui cuantificat și raportat (vezi Capitolul 3).

Exponentul $N1$ în formula NDF determină cât de sensibil răspunde scurgerile la variația presiunii la fiecare oră a zilei. Când $N1 = 1$, relația este liniară, iar NDF se reduce la suma aritmetică a 24 de rapoarte de presiune. Când $N1 > 1$, corecția este amplificată — mai jos de 24 pentru sistemele gravitaționale, mai mult peste 24 pentru sistemele cu presiune gestionată. Când $N1 < 1$, corecția este atenuată, iar NDF-urile se aglomerează mai aproape de 24.

Totuși, $N1$ nu este o constantă fizică fixă a DMA-ului. Este un parametru dependent de presiune: așa cum a demonstrat conceptul FAVAD (Descărcări cu Arie Fixă și Variabilă) (van Zyl & Lambert, 2017), $N1$ -ul aparent al unei populații cu scurgeri variază cu AZP-ul predominant, deoarece combinația dintre comportamentul orificiilor pe arie fixă și comportamentul fisurilor pe arie variabilă în populația cu scurgeri produce o relație curbată, nu liniară, între log-(scurgere) și log-presiune. Testul în trepte oferă o estimare locală a $N1$ valabilă doar în intervalul de presiune pe care a fost efectuat testul. Aplicarea acestei valori fixe pe întreaga gamă de presiune diurnă — așa cum face suma NDF — este o aproximare a cărei eroare crește pe măsură ce AZP-ul de zi se abate din intervalul de presiune de test. Pentru sistemele gravitaționale, abordarea fix- $N1$ supraestimează sensibilitatea la scurgeri la presiuni mai mici în timpul zilei, ceea ce face ca NDF-ul să fie subestimat și scurgerile zilnice să fie subestimate. Pentru sistemele gestionate de presiune, eroarea corespunzătoare este în direcția opusă.

Pentru majoritatea DMA-urilor operaționale cu variație moderată a presiunii diurne, această eroare este limitată, iar $N1$ -ul fixat dintr-un test în trepte este o aproximație operațională adecvată. Acolo unde intervalul AZP diurn este larg — sisteme gravitaționale la altitudine mare cu pierderi mari de frecare sau gestionarea agresivă a presiunii modulate de flux — incertitudinea trebuie recunoscută. În absența unui $N1$ măsurat, $N1 = 1$ este valoarea implicită recomandată pentru DMA-urile cu țevi mixte. Îndrumări complete privind testarea la pasul $N1$ sunt oferite în Anexa E.

Atunci când un DMA conține mai multe Zone de Management al Presiunii sau Zone de Presiune Reziduală cu profiluri de presiune distincte, fiecare subzonă necesită propria serie diurnă AZP, AZP_MNF și NDF. NDF-urile la nivel de zonă sunt combinate ca o medie ponderată pe proprietate pentru a produce NDF-ul la nivel DMA. Mai multe detalii despre analiza presiunii DMA pot fi găsite în Anexa E.

4.2.4 RECONCILIAREA BILANȚULUI APEI CU ANALIZA MNF

Bilanțul Apei și Analiza MNF sunt cele două metode principale pentru estimarea pierderilor reale la nivelul DMA. Aplicate corect la aceeași perioadă de analiză, rezultatele lor ar trebui să fie consistente. Bilanțul Apei funcționează de sus în jos: derivă pierderi reale ca reziduu al tuturor fluxurilor măsurate minus consumul autorizat și pierderile aparente, integrând performanța pe parcursul zilelor, săptămânilor sau lunilor. Analiza MNF funcționează de jos în sus: izolează semnalul de scurgere continuă în fereastra de consum minim de noapte-oră și îl scalează la un volum zilnic prin Factorul de Zi de Noapte (NDF). Fiecare metodă are puncte forte complementare și puncte oarbe caracteristice; niciuna dintre aceste metode nu este suficientă pentru a garanta o estimare fiabilă a scurgerii.

Când cele două metode divergă semnificativ, divergența în sine este diagnostică — indică o problemă de integritate a datelor sau un comportament hidraulic neexplicat care trebuie rezolvat înainte ca oricare dintre estimări să poată fi folosită cu încredere pentru deciziile operaționale. Procedura de reconciliere descrisă aici oferă o verificare practică zilnică a calității datelor DMA și stă la baza clasificării operabilității dezvoltate în Secțiunea 5.2.4.4.

Puncte forte și limitări complementare

Balanțul Apei surprinde toate pierderile reale pe întreaga perioadă de 24 de ore, inclusiv pierderile care apar în orele de vârf ale cererii, când presiunea — și, prin urmare, rata de scurgere — este mai mică decât noaptea. Este sensibil la pierderile aparente, pe care MNF Analysis nu le măsoară direct, și oferă contabilitatea volumetrică pe termen lung necesară pentru raportarea reglementărilor. Totuși, acuratețea sa depinde de completitudinea și alinierea spațială a datelor de consum. La scara DMA, limitele de facturare diverg frecvent de cele hidraulice, o proporție semnificativă de clienți poate fi necontorată, iar nealinierea temporală dintre ciclurile de măsurare și facturare introduce incertitudine sistematică (Secțiunea 4.2.1, Pașii 3–5). Aceste efecte se acumulează: incertitudinea combinată a Bilanțului Apei la nivelul DMA poate fi substanțial mai mare decât la nivelul utilității (Capitolul 3).

Analiza MNF oferă un semnal de scurgere aproape în timp real, este insensibilă la calitatea datelor de consum și poate detecta noi evenimente de explozie în câteva ore de la apariția lor. Principalele sale limitări sunt acuratețea separării consumului de noapte (Secțiunea 4.2.2) și fiabilitatea calculului NDF (Secțiunea 4.2.4). Nu surprinde direct pierderile aparente. În DMA-urile cu rezervoare de stocare semnificative pentru clienți, estimările bazate pe MNF pot fi nesigure chiar și în absența erorii de măsurare (Secțiunea 4.3.1). Când ambele metode conțin erori care merg în aceeași direcție, acordul lor aparent poate fi fals — reconcilierea reduce, dar nu elimină acest risc.

Rezidualul ca metrică de reconciliere

Reconcilierea se realizează prin calcularea Reziduuului Zilnic (R), adică diferența dintre Pierderile Zilnice din Bilanțul Apei (DL) și Scurgerile Zilnice din Analiza MNF (DLeak):

$$R = DL - DLeak$$

$$R = \frac{\text{Pierderi reale}}{\text{Perioada de evaluare}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) - \text{LMNF} \times \text{NDF} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$$

unde L_MNF este rata orară de scurgere la ora MNF (Secțiunea 4.2.2), NDF este Factorul de Zi Noapte (Secțiunea 4.2.4), iar Pierderile Reale reprezintă rezultatul Treptii 6 din Bilanțul Apei (Secțiunea 4.2.1).

Reziduul este normalizat prin Debitul Zilnic Total (TDF), adică volumul mediu zilnic de intrare al sistemului pe durata perioadei de analiză — pentru a fi comparabil între DMA-uri de dimensiuni diferite:

$$\hat{R} = \frac{R}{\text{TDF}} \times 100\%$$

Un Reziduu Normalizat la $\pm 20\%$ din TDF indică o consistență acceptabilă între cele două metode. Acest prag reflectă incertitudinea combinată tipică a măsurării și estimării la scara DMA și este larg adoptat în practica operațională. Un $\pm 20\%$ rezidual extern semnalează că una sau ambele metode produc o estimare nesigură; DMA nu ar trebui folosită pentru analiza scurgerilor până când cauza nu este identificată și rezolvată. Pragul de $\pm 20\%$ este un ghid operațional derivat din experiența de teren, nu un standard formal. Utilitățile cu date de consum de înaltă calitate și incertitudine de măsurare bine caracterizată (Capitolul 3) pot aplica un prag mai strict.

Interpretarea semnului reziduului

Semnul și magnitudinea Reziduului oferă ghidaj direcțional pentru investigație. Tabelele 4-5 rezumă cele mai comune tipare și cauzele lor probabile.

Un Rezidual puternic pozitiv — unde Bilanțul Apei arată pierderi substanțial mai mari decât Analiza MNF — reflectă cel mai frecvent pierderi aparente subestimate (vezi Secțiunea 4.2.2, Pasul 5) sau o nealiniere spațială între registrul de facturare și limita hidrolică. Un reziduu puternic negativ — unde analiza MNF arată mai multe scurgeri decât bilanțul apei — cel mai frecvent indică o defecțiune a integrității limitelor, cum ar fi o supapă de limită deschisă sau care scurge care nu este detectată în debitmetre, o supraestimare a consumului pe timp de noapte sau clienți mari cu cerere nocturnă care nu a fost înregistrată separat. Cel mai dificil caz este atunci când ambele metode implică erori simultane în aceeași direcție: acordul lor aparent este fals, iar o verificare independentă — cum ar fi o inspecție temporară a debitului sau o plimbare a limitelor — este necesară.

Tabelul 4-5 Interpretarea DMA Acțiuni reziduale și recomandate

Model rezidual	Cauza probabilă	Acțiune recomandată
Aproape zero ($ R \leq 20\% \text{ TDF}$)	Ambele metode sunt consistente; Datele fiabile	Clasifică DMA ca fiind operabil. Se procedează la descompunerea prin scurgere (vezi Secțiunile 5.1–5.2).
Puternic pozitiv ($DL \gg DLeak$)	Pierderi aparente subestimate (utilizare neînregistrată, citire subestimată a contorului, erori de manipulare a datelor); alinierea limitelor de facturare; Consumul de noapte subestimat în analiza MNF	Revizuieste Pasul 5 al Bilanțului Apei (Secțiunea 4.2.2). Verifică alinierea spațială a registrului clienților. Reexaminați estimarea și metoda NC.
Puternic negativ ($DLeak \gg DL$)	valva de limită deschisă sau care scurge nu este reflectată în măsurarea debitului; consumul nocturn supraestimat; Eroare de calcul NDF; clienți mari cu cerere nocturnă semnificativă, nu separat înregistrate; rezervoare de stocare pentru clienți (Secțiunea 4.3.1)	Inspectați toate supapele de limită. Verificați izolarea hidraulică DMA (Secțiunea 4.1.1). Revizuieste modelul NC, intrările NDF și datele despre presiunea diurnă.
Dimensiunea mare, semnul variază între perioade	Multiple erori simultane de date; DMA hidraulic instabil; anomalia de măsurare care maschează scurgerile reale	Se clasifică ca nefuncțional. Este necesară o verificare sistematică a datelor. Luați în considerare sondajul temporar al debitului și o plimbare a limitelor înainte de a relua analiza scurgerilor.

Consecințe operaționale și link direct către capitolul 5

Un DMA al cărui rezidual normalizat depășește $\pm 20\%$ ar trebui clasificat ca neoperabil (Figura 4-16). Țintirea unui DMA nefuncțional pentru detectarea activă a scurgerilor este ineficientă și potențial înșelătoare: cifra calculată a scurgerii este nesigură, iar resursele de teren pot fi direcționate către o problemă care nu există — sau pot fi deviate de la una care există. Rezolvarea Reziduului prin identificarea și corectarea problemei de date care o cauzează este o condiție prealabilă pentru o utilizare operațională încrezătoare a oricărei metode.

Odată ce un DMA este clasificat ca fiind operabil, ambele estimări sunt disponibile pentru analist. În Capitolul 5, rezultatul Analizei MNF oferă baza operațională pentru descompunerea scurgerii totale în componente de fundal și de explozie, în timp ce rezultatul Echilibrului Apei oferă reperul strategic pentru țintele de recuperare și tendințele de performanță pe termen lung. Conceptul de operabilitate DMA și fluxul său de lucru zilnic de monitorizare sunt dezvoltate mai departe în Secțiunea 5.2.4.

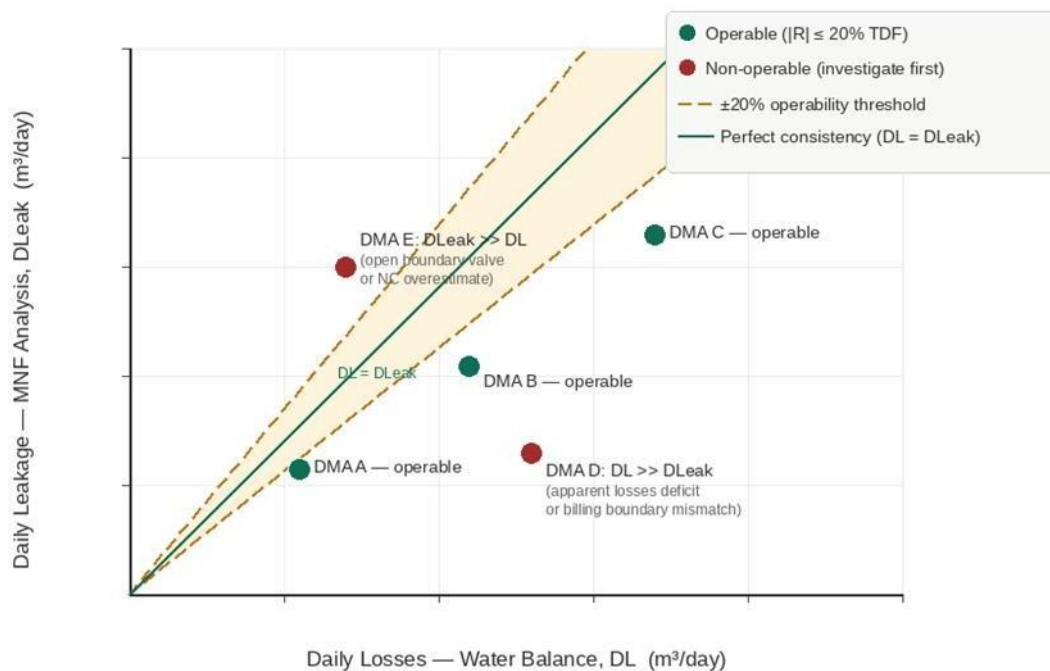


Figura 4-16 Diagramă de dispersie a operabilității DMA.

4.3 ESTIMAREA SCURGERII PENTRU CAZURI SPECIALE

4.3.1 DMA CU REZERVOARE DE STOCARE PENTRU CLIENȚI

Rezervoarele de stocare pe partea clientului — inclusiv cisternele de pe acoperiș, rezervoarele subterane cu presiune de rupere și rezervoarele instituționale mari — modifică profilul de debit diurn al unui DMA și complică estimarea scurgerilor prin decuplarea momentului intrării în rețea de momentul consumului real de apă. Așa cum este descris în Secțiunea 4.1.2, rezervoarele se umplu în funcție de disponibilitatea presiunii rețelei și comportamentul supapelor controlate la nivel, nu conform ciclurilor de cerere ale clienților. Gradul de perturbare al analizei scurgerilor depinde de tipul rezervorului, dimensiune și densitatea instalațiilor de stocare din cadrul DMA.

Într-un DMA fără stocare semnificativă pentru clienți, trasarea fluxului reflectă îndeaproape modelul de consum diurn al populației de clienți. Într-un DMA cu o densitate mare de rezervoare de stocare, această relație se rupe. Figurile 4-6 ilustrează contrastul: DMA-ul înalt cu rezervoare de acoperiș arată un profil neted, deplasat în timp, cu un vârf de consum întârziat în jurul orei 12:00, în timp ce DMA-ul rezidențial cu înălțime joasă, fără depozitare, afișează vârful caracteristic de dimineață la aproximativ 10:00. Clienții instituționali mari — hoteluri, spitale și centre comerciale — introduc blocuri suplimentare de cerere care pot fi programate sau declanșate de presiune, nu de consum.

Figura 4-17 arată profilul măsurat al debitului de intrare pentru un complex de apartamente înalt din Istanbul, ilustrând impulsurile caracteristice de umplere a rezervorului suprapuși peste semnalul de consum de bază. Aceste impulsuri sunt controlate de supape de admisie acționate prin plutitor sau cu senzor de nivel, care se deschid când nivelul rezervorului scade sub un punct setat și se închid când rezervorul este plin. Momentul și debitul fiecărui eveniment de umplere depind de dimensiunea rezervorului, tipul de supapă și rata de consum

scăderea din rezervor — ceea ce face ca aceste debite să fie dificil de prezis sau scăzut analitic fără sub-măsurare.

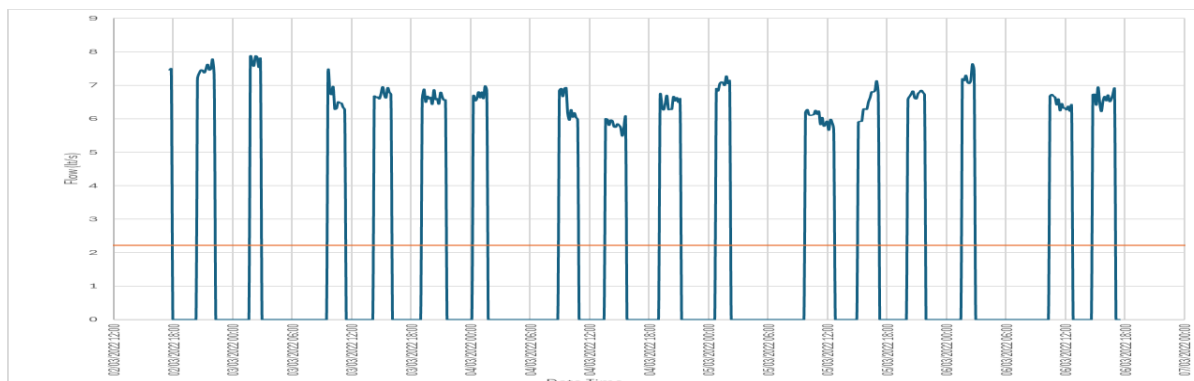


Figura 4-17 Măsurarea debitului într-un complex de blocuri de apartamente înalte din Istanbul (sursa: DEWA, 2025).

Efecte asupra analizei MNF

Analiza standard MNF se bazează pe presupunerea că debitul minim de noapte reflectă o perioadă de consum aproape zero, astfel încât debitul rezidual după scăderea NC (Secțiunea 4.2.3) este atribuibil scurgerii rețelei. Rezervoarele mari de stocare încălcă această presupunere în două moduri:

- ◆ Umplerea rezervorului în timpul sau după vârful de seară crește MNF aparent. Rezervoarele ale căror supape controlate la nivel se deschid târziu seara sau noaptea adaugă un flux de umplere semnalului DMA care este indistinct de scurgerile la contorul de limită. Acest efect este cel mai pronunțat pentru rezervoare mari cu rate lente de umplere, controlate de supape cu bilă acționate cu plutire, care mențin un aport aproape constant și scăzut pe perioade îndelungate — exact semnătura pe care MNF Analysis o interpretează ca scurgere de fond.
- ◆ Scurgerea supapei plutitoare pe partea clientului contribuie la un debit continuu de nivel scăzut la contor, clasificat ca Scurgere de Noapte a Clientului (CNL) în cadrul Consumului de Noapte (Secțiunea 4.2.3). Rezervoarele mici interne au contribuții neglijabile la CNL. Rezervoarele mari cu defecte de supapă plutitoare pot produce debite care sunt materiale în raport cu nivelul de scurgere al rețelei DMA și trebuie estimate și scăzute ca parte a aportului NC, nu tratate ca scurgeri de rețea.

Fiabilitatea analizei MNF în DMA-urile cu rezervor de stocare depinde de magnitudinea acestor efecte în raport cu scurgerile rețelei. În cazul în care debitele de umplere a rezervoarelor sunt mici comparativ cu MNF-ul DMA — tipic pentru DMA-urile cu rezervoare domestice predominant mici — analiza standard cu o limită NC ajustată corespunzător rămâne valabilă. Unde rezervoarele mari domină semnalul de flux nocturn, analiza MNF poate deveni nesigură ca instrument de cuantificare a scurgerilor. Experiența operațională a companiilor de utilități din zonele de aprovizionare dominate de clădiri înalte confirmă această limitare.

Supapele de admisie controlate pe nivel, care funcționează aproape la capacitate maximă, mențin un debit de admisie foarte scăzut pe măsură ce supapa plutitoare accelerează spre închidere. Debitul sub pragul minim de înregistrare al contorului de frontieră vor fi înregistrate ca zero, cauzând subînregistrarea consumului efectiv. Această subînregistrare sistematică reduce AF înregistrat și umflă raportul aparent MNF/AF, clasificând greșit un DMA cu scurgeri mici ca unul cu scurgeri mari. Implicațiile aparent de pierdere ale subînregistrării contoarelor la debite scăzute sunt discutate în Secțiunea 4.2.2.

Rolul configurației de măsurare

Tratamentul analitic al rezervoarelor de stocare ale clienților, atât în MNF Analysis, cât și în Water Balance depinde critic de ceea ce este măsurat și unde. Două configurații sunt comune în practică și au implicații fundamentale diferite.

Configurația A — Admisie cu rezervor măsurat, fără contoare de consum în aval

Atunci când debitul care intră în fiecare rezervor mare de stocare al clientului este captat complet de un contor de admisie dedicat, volumul de admisie măsurat poate fi clasificat ca Consum Autorizat în cadrul Bilanțului de Apă DMA. Rezervorul și toată consumul de apă în aval de contorul de admisie se află în afara limitelor contabile a scurgerilor DMA: ceea ce se întâmplă în interiorul rezervorului — consum, pierderi interne, fluctuații de stocare — nu mai este relevant pentru calculul DMA. Corecția cauzată de schimbarea volumului în rezervoarele de stocare nu este necesară, deoarece limita contabilă a DMA se termină la contorul de intrare. Echilibrul de apă izolează corect pierderile reale ale rețelei, cu condiția ca contorul de admisie să capteze tot debitul care intră în rezervor fără a ocoli.

Această configurație este cea mai practică soluție pentru clienții instituționali mari (hoteluri, spitale, clădiri înalte), unde sub-măsurarea unităților individuale de consum este nepractică. Obiectivul analitic al utilității — cuantificarea scurgerii în rețea — este deservit pe deplin doar de contorul de admisie.

Limitarea rămasă este pierderea aparentă: la debite scăzute, când rezervorul este aproape plin și supapa de admisie se limitează, contorul de admisie poate subregistra, ceea ce face ca consumul autorizat înregistrat să scadă sub volumul real livrat. Această subînregistrare reprezintă o pierdere aparentă la contorul de admisie, nu o pierdere reală, și ar trebui evaluată ca parte a componentei pierderilor aparente din Bilanțul Apei (Secțiunea 4.2.2).

Configurația B — Admisie de rezervor măsurată și contoare individuale de consum în aval

Când unitățile individuale de consum sunt măsurate pe lângă admisia rezervorului, diferența dintre volumul contorului de admisie și suma volumelor contoarelor unitare pe parcursul oricărei perioade de evaluare reprezintă apa care a intrat în rezervor, dar care nu a fost înregistrată ca consum autorizat la contoarele unitare. Pe o perioadă scurtă, această diferență include schimbarea netă a stocării rezervoarelor. Pe o perioadă extinsă — de obicei un an sau mai mult, când fluctuațiile sezoniere de stocare se anulează — reziduul persistent reprezintă pierderi reale pe partea clientului: scurgeri structurale din rezervor, revărsare și pierderi din conductele interne dintre rezervor și unitățile de contoare.

Această configurație oferă informații pe care Configurația A nu le poate: permite separarea pierderilor reale pe partea clientului de pierderile reale ale rețelei și cuantificarea responsabilității relative a utilității și a clientului. Media pe termen lung a diferenței de intrare minus unități este o estimare directă a ratei pierderilor pe partea clientului. Variația pe termen scurt în jurul acestei medii reflectă ciclurile de stocare și oferă — dacă geometria rezervorului este cunoscută — o măsură indirectă a schimbării stocării rezervorului fără a necesita măsurători directe a nivelului.

În cadrul IWA, pierderile de acest tip pe partea clientului sunt clasificate ca pierderi reale atribuite conductei clientului și se află în afara controlului direct al utilității, dar se încadrează în sfera sa de interes pentru contabilitatea totală NRW. Utilitățile cu o proporție mare de măsurare Configurație B pot astfel să dezagrame pierderile reale totale DMA în pierderi de rețea și pierderi pe partea clientului — o distincție care are implicații directe pentru strategia de reducere a scurgerilor și pentru alocarea responsabilității de intervenție între utilitate și client.

Abordare analitică recomandată

Răspunsul analitic adecvat depinde de natura și amploarea efectului rezervorului de stocare:

- ◆ Atunci când rezervoarele mari sunt sub-măsurate individual, volumul lor de umplere poate fi scăzut din aflusul DMA înainte de aplicarea analizei MNF sau a bilanțului apei, restabilind cadrul analitic standard.
- ◆ Atunci când sub-măsurarea nu este disponibilă, metoda bilanțului apei aplicată pe un ciclu complet de facturare este mai puțin sensibilă la perturbările de umplere a rezervoarelor pe termen scurt decât analiza MNF și este metoda preferată pentru cuantificarea scurgerilor în DMA-urile cu rezervoare de stocare (Secțiunea 4.2.2).
- ◆ Unde fereastra MNF poate fi verificată ca fiind fără umplerea rezervorului — de exemplu, prin monitorizarea nivelurilor rezervorului sau semnale de presiune care indică faptul că rezervoarele sunt pline — Analiza MNF poate fi aplicată doar acelor nopți, acceptând că setul de date disponibil va fi mai mic decât pentru un DMA rezidențial standard.
- ◆ Rezervoarele mari individuale care generează debite nocturne de materiale trebuie tratate în același mod ca utilizarea continuă non-casnică (Secțiunea 4.2.3): sub-măsurate separat, iar contribuția lor scăzută din MNF înainte de analiză.

Rețineți că Secțiunea 4.3.3 abordează cazul conex al pompelor de amplificare ale clientului, care introduc o sursă suplimentară de distorsiune a semnalului de debit, distinctă de efectul de umplere a rezervorului de stocare descris aici.

4.3.2 DMA-URI CU APROVIZIONARE INTERMITENTĂ

Aprovizionarea intermitentă cu apă (IWS) — unde clienții primesc apă doar câteva ore pe zi sau pe săptămână — completează fiecare provocare analitică descrisă în Secțiunea 4.3.1 cu

un set suplimentar de fenomene specifice IWS. Nicio metodă unică de evaluare nu este suficientă; estimările fiabile ale pierderilor reale în sistemele IWS necesită triangulație multi-metodă.

Fenomene specifice IWS

În timpul fiecărui eveniment de presurizare, aerul prins în rețeaua de distribuție este forțat să treacă prin contoarele de limită și contoarele clienți, ceea ce duce la supraînregistrare sistematică care trebuie corectată înainte de orice analiză de bilanț hidral sau MNF. Într-un studiu de caz din sudul Indiei, supraînregistrarea necorectată a aerului a umflat consumul măsurat cu 15%; corectarea doar a contorului de frontieră fără a corecta și contoarele clienților subestimează pierderile reale cu o sumă corespunzătoare (Mastaller & Klingel, 2018). Pierderile la reîncărcare — apa care scapă din conducte în momentul depresurizării și nu este recuperată în ciclul următor de alimentare — adaugă o componentă de pierdere fără un echivalent continuu. Ciclurile repetate de presurizare accelerează, de asemenea, deteriorarea țevilor, crescând progresiv ratele de scurgere de fond în moduri pe care estimările standard ale componentelor BABE, calibrate pe baza datelor de defecțiune a alimentării continue, nu le surprind complet.

Rezervoarele de stocare ale clienților, omniprezente în sistemele IWS, generează două complicații suplimentare. În primul rând, debordarea rezervorului constituie o componentă substanțială a risipei care, acolo unde măsurarea are loc la intrarea conexiunii de serviciu, trece prin contorul de limită și este considerată furnizare autorizată, dar nu aduce niciun beneficiu pentru client. Magnitudinea raportată variază de la aproximativ 10% din SIV în sudul Indiei (Mastaller & Klingel, 2018) până la 44% din consumul total rezidențial din Trinidad și Tobago (Fanner, 2009); principalul factor este distribuția presiunii în timpul perioadei de aprovizionare, care determină clienții din apropierea sursei să-și umple și să-și reverse rezervoarele înainte ca clienții îndepărtați să primească apă. În al doilea rând, consumul nemăsurat sau cu tarif fix nu poate fi estimat din citirile contoarelor și necesită eșantionare statistică, așa cum este descris mai jos.

Aceste fenomene interacționează cu designul DMA. DMA-urile delimitate folosind criterii de aprovizionare continuă produc diferențe mari de presiune în interiorul DMA în timpul perioadei de aprovizionare, ceea ce intensifică risipa de revărsare, prelungește timpul necesar pentru a atinge saturația de aprovizionare și crește variabilitatea momentului minim al debitului nocturn. Prin urmare, DMA-urile IWS ar trebui să fie mici și hidraulic omogene, proiectate astfel încât diferențele de presiune dintre nodurile cele mai favorizate și cele mai puțin favorizate pe parcursul perioadei de aprovizionare să rămână în limitele de echitate acceptabile (Ilaya-Ayza et al., 2017). O astfel de configurație scurtează, de asemenea, timpul de saturație și îmbunătățește fiabilitatea analizei MNF.

Ciclul de aprovizionare ca unitate de analiză

În IWS, unitatea analitică naturală este ciclul complet de aprovizionare, nu ziua calendaristică. Calculele Bilanțului Apei trebuie adunate pe parcursul unui sau mai multor cicluri complete. Analiza MNF se aplică în perioada presurizată, nu într-o fereastră nocturnă fixă. Corecțiile volumului de stocare sunt mai ușor de gestionat atunci când perioada de echilibru este aliniată cu ciclurile complete de aprovizionare, deoarece nivelurile rezervoarelor la limitele ciclurilor pot fi definite mai consecvent.

Bilanț de apă adaptat

Standardul IWA Water Balance necesită adaptare pentru contextele IWS. În cazul în care clienții sunt măsurați, o abordare top-down folosind consum autorizat este estimat la aproximativ 10%

consumului facturat oferă un punct de plecare funcțional, cu incertitudine reală a pierderilor tipic în intervalul $\pm 11\text{--}21\%$ (Al-Washali et al., 2020). În cazul în care clienții nu sunt contonați și li se percepe un tarif fix, limita de utilitate/client bazată pe contor se prăbușește complet. În acest caz, aprovizionarea autorizată trebuie divizată în componentele facturate și nefacturate, iar componenta facturată trebuie separată suplimentar în consum real și risipă (în principal depășirea rezervorului), urmând cadrul adaptat al lui Mastaller & Klingel (2018). O consecință importantă a acestui cadru este că NRW poate fi dominat de un tarif fix, mai degrabă decât de pierderi fizice: în Tiruvannamalai, India, 44% dintr-un NRW total de 73% a fost atribuit acestei cauze, un rezultat care ar fi invizibil într-un bilanț standard al apei.

Estimarea aprovizionării autorizate facturate în sistemele nemăsurate necesită un monitor de consum statistic reprezentativ — contoare instalate pe un eșantion aleatoriu de clienți necontoare care continuă să fie taxați cu tarif fix. Un eșantion de 6–10% din conexiuni, stratificat după ocuparea gospodăriei și tipul de aprovizionare, atinge de obicei un interval de încredere de 95% de $\pm 7\text{--}10\%$ în consumul mediu (Mastaller & Klingel, 2018; Fanner, 2009). Două constrângeri practice sunt importante. Contoarele folosite pentru monitorizarea consumului IWS nu trebuie să înregistreze aerul și trebuie să reziste stresului mecanic al fluxului repetat de aer; Aparatele de viteză standard nu sunt potrivite, iar contoarele fără piese mobile ar trebui specificate (Fanner, 2009). Calitatea datelor adreselor clienților limitează frecvent dimensiunea eșantionului realizabilă și trebuie evaluată înainte de a concepe programul de monitorizare.

Acolo unde există canalizare centralizată cu debite măsurate ale apelor uzate, un Bilanț de Apă și Apele Uzate oferă o estimare independentă a pierderilor aparente care ocolește complet problemele de acuratețe ale contoarelor. Această metodă tinde să supraestimeze pierderile aparente acolo unde exfiltrarea canalizării este semnificativă și necesită factori locali de corecție pentru consumul de apă în exterior și consumul nefacturat, dar oferă o verificare valoroasă și ar trebui inclusă în evaluarea multi-metodă acolo unde datele permit. Corecția volumului de stocare (ΔV_{tanks}) aplicabilă tuturor calculelor Bilanțului Apei în sistemele cu rezervoare de stocare pentru clienți este descrisă în Secțiunea 4.3.1.

Analiza MNF

Analiza MNF poate fi aplicată în sistemele IWS la scară DMA, dar doar în condiții care pot necesita o pregătire operațională semnificativă. Metoda nu este aplicabilă atunci când DMA nu poate fi izolată pentru o perioadă continuă de aprovizionare de durată suficientă sau unde apa disponibilă este insuficientă pentru a atinge saturația de stocare a clienților; într-un sistem sever stresat din Sana'a, Yemen, ambele condiții nu au putut fi îndeplinite și nu a fost obținută o analiză MNF validă (Al-Washali et al., 2020).

Acolo unde izolarea este posibilă, se aplică următoarele îndrumări, bazate pe experiența de teren din Zarqa, Iordania (Al-Washali et al., 2019b). Aprovizionarea continuă către DMA ar trebui menținută pentru minimum cinci zile; în experimentul Zarqa, saturarea stocării clienților a necesitat aproximativ 63 de ore până când profilurile de flux au început să se repete în mod fiabil. Saturația poate fi confirmată pe teren atunci când profilurile de debit zilnic succesive se reproduc strâns între ele, fără

necesită calcule. Analiza ar trebui să folosească doar zilele saturate confirmate, excluzând orice zi afectată de perturbări operaționale identificabile, cum ar fi prăbușiri de presiune sau schimbări de supapele.

Profilul complet de debit pe 24 de ore trebuie monitorizat în fiecare zi de analiză. În sistemele IWS pompate sau parțial presurizate, MNF poate apărea în orice moment al nopții sau dimineața devreme, în funcție de momentul în care rezervoarele de stocare ale clienților ating capacitatea; presupunând că o fereastră nocturnă fixă va rata realul minim în multe cazuri. Rezultatele trebuie mediate pe mai multe zile valabile, deoarece variația de la zi la zi în estimarea MNF contribuie la o incertitudine mai mare decât rafinările la presupunerea componentei de scurgere de noapte (LNC). NDF-ul ar trebui calculat pe baza datelor măsurate de presiune, nu presupus la valoarea implicită de 24 de ore/zi: în sistemul IWS pompat Zarqa, NDF-ul măsurat era de 14,2 ore/zi, iar aplicarea implicitului ar fi supraestimat pierderea zilnică de aproximativ 1,7 ori. Estimările LNC ar trebui să se bazeze pe date locale privind aparatele, deoarece volumele de spălare și modelele de utilizare a instalațiilor în contextele IWS pot diferi substanțial de cele din Europa sau America de Nord (Fanner, 2009).

Incertitudinea reală totală a pierderilor din analiza MNF în IWS este de $\pm 22\text{--}30\%$ (Al-Washali et al., 2020). Estimările standard ale componentelor BABE ar trebui folosite doar în scopuri de planificare a subcomponentelor; dovezile de teren arată constant că BABE subestimează substanțial scurgerile totale în sistemele IWS, majoritatea scurgerii derivate din MNF fiind atribuite pierderilor ascunse pe care parametrii standard BABE nu le reprezintă (Al-Washali et al., 2019b).

Triangulație multi-metodă

Deoarece nicio metodă unică nu este fiabilă izolată, estimările pierderilor reale în sistemele IWS ar trebui derivate din media a cel puțin două metode independente — balanțul apei adaptat de sus în jos și analiza MNF, unde ambele sunt fezabile, suplimentate de Balanțul Apei și Apelor Uzate unde există date despre canalizare — cu BABE folosit pentru a informa structura subcomponentelor oricărui program de reducere. Divergența între metode este diagnostică a tipului dominant de pierdere și ar trebui investigată, nu rezolvată prin selectarea celui mai convenabil rezultat. Alegerea metodei are consecințe economice semnificative: în cazul Zarqa, economiile potențiale estimate în controlul activ al scurgerilor au variat de un factor de trei, în funcție de metoda de evaluare folosită, un interval care ar duce la decizii de investiții fundamental diferite (Al-Washali et al., 2020).

Tranziția către aprovizionare continuă

Orice tranziție de la IWS la aprovizionare continuă va determina creșterea volumelor raportate de NRW, chiar și acolo unde gestionarea scurgerilor este eficientă, deoarece infrastructura care anterior era depresurizată pentru cea mai mare parte a zilei începe să aibă scurgeri continue. O bază pre-tranziție, stabilită folosind abordarea multi-metodă descrisă în această secțiune, este esențială pentru interpretarea corectă a estimărilor pierderilor post-tranziție. Protocolul temporar de aprovizionare continuă folosit într-un experiment de teren Zarqa de cinci zile (Al-Washali et al., 2019b) oferă o metodă replicabilă pentru stabilirea acestei baze la scară DMA. Infrastructura DMA — supape de limită,

debitometre și registre de presiune — instalate pentru estimarea pierderilor IWS servește direct ca zonă de presiune

și cadrul de monitorizare necesar pentru controlul scurgerilor post-tranziție, care nu devine depășit atunci când aprovizionarea devine continuă.

4.3.3 DMA CU CONTROL AL PRESIUNII

Gestionarea presiunii este una dintre cele mai eficiente intervenții pentru reducerea pierderilor reale, iar efectele sale asupra semnalului de curgere DMA necesită o considerație specifică atunci când se interpretează datele MNF.

Efectul asupra semnalului MNF

Într-un DMA fără control al presiunii, presiunea variază natural și invers cu cererea: este cea mai ridicată noaptea când consumul este scăzut și cea mai scăzută în vârfurile de dimineață și seară. Prin urmare, MNF apare sub cele mai mari presiuni pe care rețeaua le experimentează pe parcursul ciclului zilnic, iar extrapolarea bazată pe NDF la scurgerile zilnice explică variația presiunii pe întregul ciclu zilnic într-un mod previzibil (vezi Secțiunea 4.2.3).

Într-un DMA cu control activ al presiunii, această relație este modificată deliberat. Majoritatea schemelor de control al presiunii aplică cea mai mare reducere în perioadele de cerere scăzută, inclusiv fereastra MNF, când cererea este cea mai scăzută și riscul de suprapresiune este cel mai mare. Ca urmare, MNF-ul este măsurat în condiții de presiune redusă și reflectă scurgerile în cele mai favorabile condiții de presiune ale zilei. Extrapolarea acestei valori la întreaga perioadă de 24 de ore necesită date de presiune din întregul ciclu zilnic, nu doar din fereastra MNF; NDF-ul trebuie calculat prin integrarea curbei de presiune măsurată pe toate orele presurizate, în loc să presupunem că presiunea ore-MNF este reprezentativă pentru condițiile zilnice (vezi Secțiunea 4.2.3).

Cuantificarea efectului de reducere a scurgerilor în managementul presiunii

Întrebarea analitică principală într-un DMA gestionat de presiune nu este dacă presiunea este menținută — aceasta este o chestiune de calitate a serviciului — ci dacă reducerea presiunii produce reducerea așteptată a scurgerii și cu cât. Aceasta necesită compararea scurgerii observate cu o predicție a modelului bazată pe diferența de presiune obținută.

Instrumentul potrivit este relația FAVAD (mai 1994; vezi Secțiunea 5.1), care leagă debitul de scurgere cu presiunea printr-un exponent calibrat local N1. Un test în trepte — o schimbare controlată, incrementală a punctului de setare PRV, realizată în fereastra MNF, înregistrând simultan atât debitul, cât și presiunea — oferă o regresie logaritmică din care N1 poate fi estimat pentru DMA specific. Odată cu stabilirea N1, economisirea scurgerii atribuită gestionării presiunii poate fi cuantificată ca diferența dintre scurgerile modelate la presiunea pre-intervenție și cele observate la presiunea gestionată. Aceasta este o evaluare a beneficiului managementului, nu o normalizare pentru comparația inter-DMA: indicatorii standard de performanță referențiați la presiune servesc adecvat acestui ultim scop, cu condiția ca analiza MNF să fie aplicată corect și consumul de noapte definit corespunzător.

Implicații pentru separarea consumului nocturn

Gestionarea presiunii crește importanța relativă a consumului corect de noapte

Separare. Când presiunea — și deci scurgerile — este redusă, componenta de consum nocturn reprezintă o pondere proporțional mai mare din MNF, iar erorile din estimare au un efect proporțional mai mare asupra valorii scurgerii derivate. Acest lucru este amplificat de DMA-uri care combină gestionarea presiunii cu clienții mari care operează pompe de amplificare: astfel de clienți pot activa pompele ca răspuns la reducerea presiunii rețelei în timpul nopții, creând evenimente de debit care distorsionează semnalul MNF exact când schema de control al presiunii este cea mai activă. Sub-măsurarea individuală a acestor clienți (vezi Secțiunea 4.2) este, prin urmare, deosebit de importantă în DMA-urile cu presiune gestionată.

Procedura testului în pas și metodologia FAVAD sunt dezvoltate integral în Secțiunea 5.1.



*Control al presiunii și cameră de măsurare,
Columbia*

REFERINȚE

- Alegre H., Baptista J.M. și Covas D. (2004). Gestionarea scurgerilor în sistemul de distribuție a apei din Lisabona. *Water Utility Journal*, 6 (3), 12–20.
- Al-Washali T.M., Sharma S.K., Al-Nozaily F., Haidera M. și Kennedy M. (2019). Monitorizarea performanței apei non-profit în sursele intermitente. *Apă*, 11 (6), 1220.
- Al-Washali T.M., Sharma S.K., Kennedy M.D., Al-Nozaily F. și Mansour H. (2019). Modelarea ratei de scurgere și a reducerii folosind analiza MNF într-un sistem de alimentare intermitentă. *Apă*, 11(1).
- Al-Washali T.M., Sharma S.K., Lupojad R., Al-Nozaily F., Mansour H. și Kennedy M. (2020). Evaluarea pierderilor de apă în rețelele de distribuție: Metode, aplicații, incertitudini și implicații în aprovizionarea intermitentă. *Resurse, Conservare și Reciclare*, 2020. (Accesat la 05 mai 2025)
- Amoatey P.K., Minke R. și Steinmetz H. (2014). Estimarea scurgerilor în rețelele de apă bazată pe două categorii de utilizatori nocturni: un studiu de caz al unei rețele de țară în curs de dezvoltare. *Aprovizionarea cu apă*, 14 (2), 329–336.
- AWWA (2009). *Programe de Control al Pierderilor – Manual de Practici de Aprovizionare cu Apă M36*. Asociația Americană a Lucrărilor cu Apă, Denver, SUA.
- Buchberger S.G. și Wu L. (1995). Model pentru cereri aleatorii în sistemele de distribuție a apei. *Jurnalul ASCE de Inginerie Hidraulică*, 121 (3), 232–246.
- Colombo A.F. și Karney B.W. (2002). Energie și costuri ale țevilor care curg. *ASCE Jurnalul de Planificare și Management al Resurselor de Apă*, 128 (6), 441–449.
- CWMAG (2020). *Ghid de bune practici pentru modelarea hidraulică*. Grupul consultativ pentru modelarea apei curate.
- CWMAG (2022). Atelier de ghidare pentru construcția modelului.
- Documentul de referință al UE (2015). *Bune practici privind gestionarea scurgerilor WFD CIS WG PoM*. Uniunea Europeană.
- Farley M. și Trow S. (2003). *Pierderi în rețelele de distribuție a apei: Ghidul unui practician pentru evaluare, monitorizare și control*. IWA Publishing.
- De la aprovizionarea intermitentă la continuă cu apă: O evaluare multidimensională a reformelor sistemului de apă din Hubli-Dharwad, Karnataka; Ray I., Billava N., Burt Z., Colford J.M. Jr., Ercümen A., Jayaramu K.P., Kumpel E., Nayak N., Nelson K. și Woefle-Erskine C. (2018). *Săptămânal Economic și Politic*.
- Bune practici privind managementul scurgerilor WFD CIS WG PoM (2015).
- Hamilton S., Charalambous B. și Wyeth G. (2021). *Îmbunătățirea rețelelor de aprovizionare cu apă: strategii și tehnologii potrivite scopului*. IWA Publishing.
- IWA (2014). *Note de orientare pentru managementul DMA*. Asociația Internațională a Apei. IWA (2014). *Statistici Internaționale pentru Serviciile de Apă*. Asociația Internațională a Apei.
- Jenks J., et al. (2023). Testarea DMA mobilă în Ontario, Canada. *Aprovizionarea cu apă*, 23 (5), 1843–1857.
- Kirstein J.K. și Høgh K. (2022). Debit minim de noapte și statistici legitime de consum pe timp de noapte folosind datele contoare inteligente. *IWA Water Loss 2022*, Praga, Republica Cehă.
- Lambert A. (2001). Ce știm despre presiune: relațiile de scurgere în sistemele de distribuție? *Lucrările Conferinței IWA privind Abordarea Sistemică în Controlul Scurgerilor și Managementul Sistemelor de Distribuție a Apei*.

Lambert A. (2002). Raport internațional: gestionarea pierderilor de apă și tehnici. *Știința și tehnologia apei: Aprovizionarea cu apă*, 2 (4), 1–20.

Lambert A. și Taylor R. (2010). *Ghiduri pentru pierderea apei*. Apă Noua Zeelandă, Noua Zeelandă.

May J. (1994). Scurgeri dependente de presiune. *Revista Mondială de Inginerie a Apei și Mediului*.

Mutikanga H., Sharma S. și Vairavamoorthy K. (2011). Evaluarea pierderilor aparente în sistemele urbane de apă. *Water and Environment Journal*, 25 (3), 327–335.

Neergaard T.B. (2024). Digitalizat Apă Scurgeri Conducere – Costuri și Beneficii pentru Utilitate. IWA Apă Pierdere Conferință, San Sebastian. [https://Bronderslevforsyning.dk/media/12zdrxfc/leak365_full-Scară-Apă-Pierdere-mangement ppt-și-full-Hârtie-în-Unu-doc-1-0.pdf](https://Bronderslevforsyning.dk/media/12zdrxfc/leak365_full-Scară-Apă-Pierdere-mangement_ppt-și-full-Hârtie-în-Unu-doc-1-0.pdf) (Accesat 2025)

Pearson D. (2019). Definiții standard pentru pierderile de apă. IWA.

Puust R., Kapelan Z., Savic D.A. și Koppel T. (2010). O revizuire a metodelor de gestionare a scurgerilor în rețelele de conducte. *Urban Water Journal*, 7 (1), 25–45.

Incertitudinea aleatorie în echilibrul apei | LEAKSuite Library. *Evaluarea incertitudinii aleatorii în calculele bilanțului de apă: Începerea – O abordare practică*. (Accesat în mai 2025)

Rubinstein R.Y. și Kroese D.P. (2016). *Simulare și metoda Monte Carlo*. John Wiley & Sons.

Sarisen D., Koukoravas V., Farmani R., Kapelan Z. și Memon F.A. (2022). Revizuirea abordărilor de modelare hidraulică pentru sistemele intermitente de alimentare cu apă. *AQUA - Infrastructura de apă, ecosistemele și societatea*, 71 (12), 1291–1310.

Seago C., Bhagwan J. și McKenzie R. (2004). Evaluarea scurgerilor din sistemele de reticulare a apei din Africa de Sud. *Water SA*, 30 (5), 25–32.

Taylor J. (1997). *Introducere în analiza erorilor: Studiul incertitudinilor în măsurătorile fizice*. University Science Books, New York, SUA.

Thornton J. și Lambert A. (2005). Progres în predicția practică a presiunii: scurgeri, presiune: frecvența exploziilor și presiunea: relațiile de consum. *Conferința IWA privind scurgerile*.

Thornton J., Sturm R. și Kunkel G. (2008). *Controlul pierderii apei*. McGraw Hill Professionist, New York, SUA.

Document din Marea Britanie (1980). Raport 26.

UKWIR (2017). *Evaluarea parametrilor cheie pentru analiza scurgerilor*. Cercetare în industria apei din Marea Britanie.

UKWIR (2020). *Înțelegerea echilibrului între utilizarea de către clienți, scurgerile țevii de alimentare și pierderile de instalații sanitare în apa livrată către proprietățile gospodării*. Cercetare în industria apei din Marea Britanie.

UKWIR (2024). *O analiză aprofundată a scurgerii folosind datele de la contor inteligent*. Cercetare în industria apei din Marea Britanie.

Agenția Statelor Unite pentru Dezvoltare Internațională (USAID) (2010). *Manualul Managerului pentru Apă Non-Profit pentru Africa*.

Vermersch M., Carteado F., Rizzo A., Johnson E., Arregui F. și Lambert A. (2016). *Note de orientare privind pierderile aparente și planificarea reducerii pierderilor de apă*. LEAKSuite Library, Marea Britanie.

5 INTERPRETAREA ȘI UTILIZAREA DATELOR DE SCURGERE DMA PENTRU A PLANIFICA ACȚIUNI

T. Crowder¹, F. Garzón-Contreras²

¹ Crowder Consulting, Marea Britanie

² HydroFlux, Cali, Columbia

REZUMAT

Acest capitol prezintă o abordare structurată pentru interpretarea datelor privind scurgerile DMA pentru a ghida deciziile operaționale. Acoperă modelarea pierderilor componentelor (explozii de fundal, raportate și neraportate), analiza presiunii și influența acestora asupra ratei de scurgeri, precum și metode de estimare a factorilor de stare a infrastructurii. Capitolul ghidează în continuare practicienii în stabilirea țintelor de scurgere, analizarea Debitului Minim de Noapte și prioritizarea intervențiilor de teren. Echipează utilitățile de apă cu instrumente practice pentru a trece de la colectarea datelor la strategii de reducere a scurgerilor bazate pe dovezi.



Instalarea unei camere de admisie DMA nou-nouțe cu PRV

5.1 EVALUAREA OPORTUNITĂȚII DE REDUCERE A SCURGERII

Nu toate pierderile reale dintr-un DMA pot fi recuperate prin detectare și reparare. O parte — scurgerile de fond — este distribuită pe mii de micro-defecte în îmbinări, fittinguri și pereți de țevi. Aceste pierderi sunt individual nedetectabile și persistente; Magnitudinea lor este guvernată de condițiile de presiune și de starea structurală a rețelei de conducte, nu de intervenția pe teren. Restul — pierderi raportate și neraportate din erupții — constau în evenimente discrete de defectare care, în principiu, pot fi localizate și reparate. Doar această a doua categorie constituie o oportunitate reală de reducere a scurgerilor, iar magnitudinea sa variază considerabil între DMA-uri care pot prezenta pierderi reale totale similare.

Această distincție are consecințe operaționale directe. Figura 5-1 ilustrează punctul cu două DMA-uri cu volume reale comparabile de pierdere. Când se aplică modelul de pierdere a componentelor, profilurile lor de scurgere diverg brusc: într-un DMA, rafalele neraportate reprezintă componenta dominantă, indicând un potențial substanțial pentru detectarea și repararea activă a scurgerilor; în cealaltă parte, pierderile sunt concentrate în componenta de fundal, iar oportunitatea practică de reducere este mult mai limitată, necesitând luarea în considerare a gestionării presiunii sau înlocuirii infrastructurii. Gestionarea ambelor DMA-uri cu aceeași intensitate și strategie — doar pe baza pierderilor totale — ar alocă greșit resursele și ar produce rezultate mult sub ceea ce ar putea oferi o abordare țintită.



Figura 5-1 Defalcarea scurgerii totale în exemple de DMA-uri.

Traseul analitic de la pierderile reale totale la volumul recuperabil este ilustrat în Figura 5-2. Semnalul MNF la granița DMA este un semnal compozit ale cărui straturi trebuie separate în secvență. Stratul cel mai exterior este utilizarea de noapte a clienților — consumul evaluat și orice utilizare excepțională pe timp de noapte — estimată folosind metodele stabilite în Capitolul 4. Odată scăzut, ceea ce rămâne este semnalul de scurgere în rețea: suma scurgerii de fond și a scurgerii de spargere. Separarea celor două necesită stabilirea planului de scurgere de fond — volumul de pierdere care nu poate fi recuperat prin metode convenționale de tip găsierea și repararea. Această podea nu este fixă: răspunde la presiunea de operare a DMA și la starea infrastructurii sale. Odată ce este cuantificată și scăzută de la scurgerile totale de rețea, ceea ce rămâne deasupra ei — raportat

iar exploziile neraportate — este volumul recuperabil. Această cifră este specifică DMA-ului și va diferi substanțial într-un portofoliu, făcând-o baza naturală pentru priorizare.

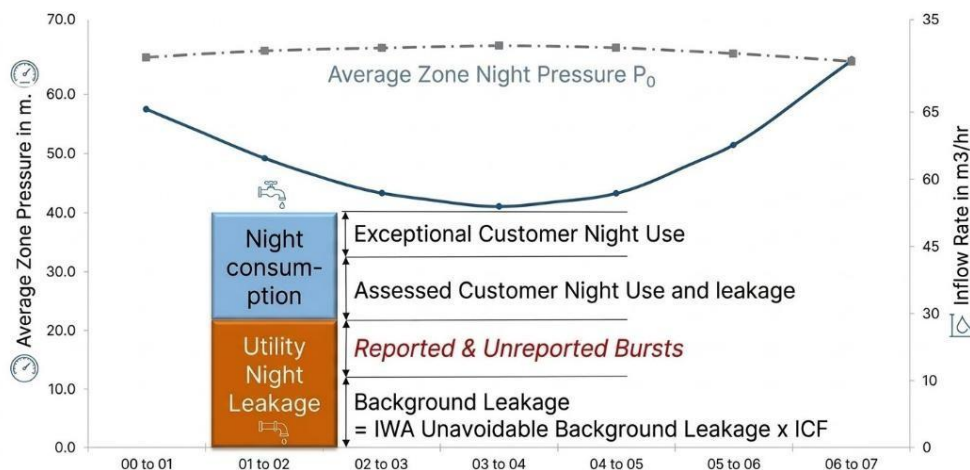


Figura 5-2 Descompunerea semnalului MNF.

Secțiunile care urmează dezvoltă fiecare pas al acestei descompuneri. Înainte de a continua, se presupune că fiecare DMA din domeniul de aplicare a fost verificată ca fiind operabilă — adică rezultatele sale privind Bilanțul Apei și Analiza MNF sunt consistente în pragul de $\pm 20\%$ stabilit în Secțiunea 4.2.4. Un DMA nefuncțional are o estimare nesigură a scurgerii și nu ar trebui supus analizei de mai jos până când problemele legate de date nu sunt rezolvate. Secțiunea 5.1.1 stabilește modelul de pierdere a componentelor ca cadrul conceptual pentru descompunere. Secțiunea 5.1.2 definește scurgerile de fond și dezvoltă metoda de calcul, inclusiv Factorul de Condiție a Infrastructurii care reflectă starea specifică conductei DMA. Secțiunea 5.1.2.3 aplică corecții de presiune pentru a se asigura că estimările scurgerii de fond reflectă condițiile reale de funcționare. Secțiunea 5.1.3 caracterizează scurgerile prin ruptură — calculul său, rata naturală de creștere și implicațiile pentru controlul activ al scurgerilor. Împreună, aceste patru secțiuni produc un singur rezultat care determină toate deciziile ulterioare din a doua parte a acestui capitol: volumul de scurgeri recuperabil pentru fiecare DMA din portofoliu.

5.1.1 MODELUL PIERDERII COMPONENTELOR

Un model de pierdere a componentelor este folosit pentru a estima pierderile reale în componentele principale ale infrastructurii unei rețele de distribuție a apei. Domeniul modelului depinde de configurația de măsurare a sistemului: cel puțin acoperă rețelele de distribuție și porțiunea deținută de utilitate a conexiunilor de serviciu până la contorul clientului; acolo unde contorul este amplasat dincolo de oprirea de bordură, acesta se extinde pentru a include conducta subterană deținută de client de la oprirea de bordură până la contor (L_p); iar în sistemele fără contor, aceasta se extinde mai departe pentru a include pierderile pe conductele deținute de clienți până la prima utilizare. Implicațiile configurației de măsurare pentru calculul scurgerii de fond sunt abordate în Secțiunea 5.1.2.

Acest model se bazează pe metodologia Bursts and Background Estimates (BABE) dezvoltată de Lambert (1994) și ulterior integrată în Analiza Componentelor AWWA

cadru (Sturm et al., 2014). Ambele cadre estimează pierderile reale anuale prin legarea măsurătorilor debitului nocturn cu calculele anuale ale pierderii.

Pentru pierderile de explozie, modelul caracterizează fiecare componentă prin debitul, frecvența și durata; pentru pierderile de fond, prin lungimea rețelei, numărul de conexiuni și presiunea de funcționare. Această distincție reflectă o diferență fizică fundamentală între cele două tipuri de pierderi, care are consecințe directe asupra modului în care fiecare poate fi gestionată — și este motivul pentru care modelul de pierdere a componentelor, mai degrabă decât o singură cifră agregată a scurgerii, este punctul de plecare potrivit pentru evaluarea oportunității de reducere a scurgerilor într-un DMA.

Modelul distinge trei componente:

- ◆ **Pierderile de fundal** sunt pierderi continue, cu debit redus, care apar la joncții, racorduri, interfețe de conexiune de serviciu și alte puncte de imperfecțiune structurală minoră de-a lungul rețelei de conducte. Fiecare pierdere individuală este sub pragul metodelor standard de detecție acustică (de obicei considerată 500 l/h; Lambert, 1994); împreună, ele constituie o bază persistentă prezentă într-o anumită măsură în fiecare rețea presurizată. Magnitudinea lor este guvernată de presiunea de funcționare și de starea structurală a infrastructurii conductelor. Acestea nu pot fi reduse doar prin activități de găsim și reparare și nu pot defini nivelul minim de scurgere pentru un DMA dat în condițiile sale actuale de funcționare. Scurgerile de fond constituie, în medie, aproximativ 49% din pierderile reale totale în rețelele de distribuție bine monitorizate (Water Breakthrough Challenge, 2023), ceea ce o face componenta care limitează în cele din urmă cât de mult poate fi redusă scurgerile totale într-un DMA dat.
- ◆ **Pierderile de explozie neraportate** sunt defecțiuni subterane — pe rețelele de distribuție, conexiuni de serviciu deținute de utilități sau conducte subterane deținute de clienți — care nu ies la suprafață și, prin urmare, nu sunt vizibile pentru clienți sau personalul operațional. La utilitățile cu programe active de control al scurgerilor, acestea sunt de obicei identificate prin sondaje proactive de detectare a scurgerilor sau prin creșteri susținute ale debitului nocturn al DMA; durata lor este guvernată în principal de frecvența sondajului și eficiența dispecerului. În utilitățile fără programe proactive de detectare a scurgerilor, exploziile neraportate rămân nedetectate până când apar la suprafață sau provoacă daune vizibile, iar durata lor poate ajunge la luni sau ani (Sturm et al., 2014). Contribuția lor cumulativă la pierderile reale totale este substanțială — aproximativ 31% din pierderile reale totale în sistemele cu programe active de control al scurgerilor (Water Breakthrough Challenge, 2023) și potențial considerabil mai mare în sistemele reactive. Atunci când apar explozii neraportate pe conductele subterane de serviciu deținute de clienți, utilitatea poate detecta pierderea prin monitorizarea liniei de noapte DMA, dar nu o poate repara direct; reparația depinde de conștientizarea clientului, disponibilitatea și capacitatea de a acționa, iar timpii de funcționare sunt în mod inerent mai lungi decât pe infrastructura deținută de utilități (Sturm et al., 2014).

- ◆ **Pierderile** raportate din explozie sunt defecțiuni care ies la suprafață sau devin vizibile. Deoarece sunt vizibile, sunt raportate și trimise prompt, menținând durata lor scurtă; Deși transportă adesea debite instantanee ridicate,

contribuția la pierderile reale anuale totale este, în general, cea mai mică dintre cele trei componente — aproximativ 5% în sistemele cu control activ al scurgerilor (Water Breakthrough Challenge, 2023). O excepție sunt spargerile raportate pe conductele de serviciu deținute de clienți, unde reparația depinde de acțiunea clientului și de aplicarea obligațiilor de reparație, iar durata poate fi considerabil mai lungă.

În operațiunile de teren, ordinea atenției este de obicei inversată: exploziile raportate cer un răspuns imediat, exploziile neraportate sunt ținta principală a controlului activ al scurgerilor, iar pierderile de fond reprezintă baza analitică stabilită în Secțiunea 5.1.2. În cadrul analitic dezvoltat în această secțiune, însă, scurgerea de fond este stabilită mai întâi — deoarece doar după ce linia de bază ireductibilă este cuantificată volumul recuperabil de deasupra poate fi evaluat semnificativ.

5.1.2 SCURGERI DE FUNDAL

După ce a stabilit scurgerile de fond ca pragul ireductibil al pierderilor reale în Secțiunea 5.1.1, această secțiune dezvoltă metoda de calcul care permite analistului să cuantifice acel podea pentru un DMA specific. Volumul calculat de scurgere de fond este intrarea cea mai importantă pentru estimarea volumului recuperabil: determină cât din pierderile reale totale măsurate în DMA este cu adevărat disponibilă pentru reducere prin controlul activ al scurgerii și cât reprezintă un minim structural care poate fi abordat doar prin managementul presiunii sau înlocuirea infrastructurii.

5.1.2.1 Ratele unităților de scurgere de fond

Scurgerile de fond sunt distribuite în patru categorii de infrastructură, fiecare cu rate distincte de pierdere unitare:

- ◆ Rețelele de distribuție — pierderi la îmbinări, fittinguri și imperfecțiuni ale pereților conductelor de-a lungul rețelei de reticulație.
- ◆ Conexiuni de serviciu deținute de utilități — de la conducta principală de distribuție până la oprirea trotuarului.
- ◆ Conducte subterane de serviciu deținute de client — de la stația de la bordură la contorul clientului; există doar acolo unde contorul este amplasat dincolo de oprirea de bordură.
- ◆ Pierderi interne în instalații sanitare — care apar în interiorul proprietății, dincolo de supapa de izolare a clientului; prezente doar în sistemele nemăsurate și tratate ca o componentă a consumului clientului în sistemele cu contor.

Ratele de pierdere unitară pentru fiecare categorie au fost derivate inițial din măsurători ale debitului nocturn în sistemele de distribuție din Marea Britanie și documentate în seria de rapoarte Managing Leakage (UK Water Industry, 1994; actualizat 2011). Ele sunt exprimate la o presiune de referință de 50 mH₂O și la condiția medie a infrastructurii (ICF = 1,0). Tabelul 5-1 prezintă aceste rate în trei scenarii de stare a infrastructurii.

Clasamentul 5-1 Debit de fundal al unității de scurgere la presiune de 50 m (UKWIR, 1994; actualizat 2011)

Componenta de pierdere de fond	Debit de pierdere unitar la presiune de 50 m		
	Bine	Medie	Sărac
Distribuția mâinilor, (litri/km/oră)	20	40	60
Conducte de comunicare (litri/conn/hr)	1.5	3	4.5
Conducte subterane de aprovizionare (litri/conn/oră)	0.25	0.5	0.75

Grupul de lucru IWA pentru Pierderi de Apă oferă un set alternativ de rate unitare exprimate pe bază de referință la presiune, care elimină necesitatea unui pas separat de corecție a presiunii și formează baza metodei de calcul din Secțiunea 5.1.2.3 (Tabelul 5-2).

Tabelul 5-2 Ratele de scurgere de fond IWA (Fanner & Thornton, 2005)

Componenta infrastructurii	Rata la ICF = 1.0	Unități
Distribuția mâinilor	9.6	1/km/zi/m H2O
Conexiuni de serviciu — principală la stația de la bordură	0.6	L/conn/day/m H2O
Conexiuni de serviciu — oprire de la bordură la contor (Lp)	16.9	1/km de conexiune/zi/m H2O

Conexiunile de serviciu constituie constant cel mai mare contributor la scurgerile totale de fond în majoritatea DMA-urilor — adesea depășind pierderile de rețea cu un factor de trei până la cinci ori (Lambert, 1994; Fanner & Thornton, 2005). Acest lucru reflectă numărul mare de puncte de conexiune și accesorii în raport cu lungimea totală a conductei și subliniază importanța înlocuirii conexiunilor de serviciu alături de reabilitarea rețelelor principale în orice program de management al infrastructurii.

5.1.2.2 Configurarea și sfera de calcul a măsurării

Domeniul de aplicare al calculului scurgerii de fond depinde de configurația de măsurare a sistemului, așa cum este introdusă în Secțiunea 5.1.1. Se aplică trei scenarii:

Scenariul A — Contor la oprirea bordului (Lp = 0): Scurgerile de fond sunt calculate doar pentru rețelele de distribuție și conexiunile de serviciu deținute de utilități. Componenta de țevă de servicii pentru clienți (al treilea rând din Tabelul 5-2) nu se aplică.

Scenariul B — Contorul din interiorul proprietății (Lp > 0): Conducta subterană deținută de client de la oprirea bordurii până la contor contribuie la scurgerile de fond măsurate la limita DMA. Lungimea medie (Lp) per conexiune trebuie introdusă în calcul. Când datele Lp nu sunt disponibile, se poate aplica o medie implicită de 15 m pe conexiune (Fanner & Thornton, 2005).

Scenariul C — Sistem necontorizat: Lp este luată ca lungimea medie a conductei subterane de serviciu de la oprirea trotuarului până la punctul primei utilizări. Pierderile interne ale instalațiilor sanitare sunt excluse din calculul rețelei.

Cele trei scenarii sunt ilustrate în Figura 5-3. În toate cazurile, pierderile dincolo de supapa de izolare a clientului sunt excluse din calculul scurgerii de fundal al rețelei.

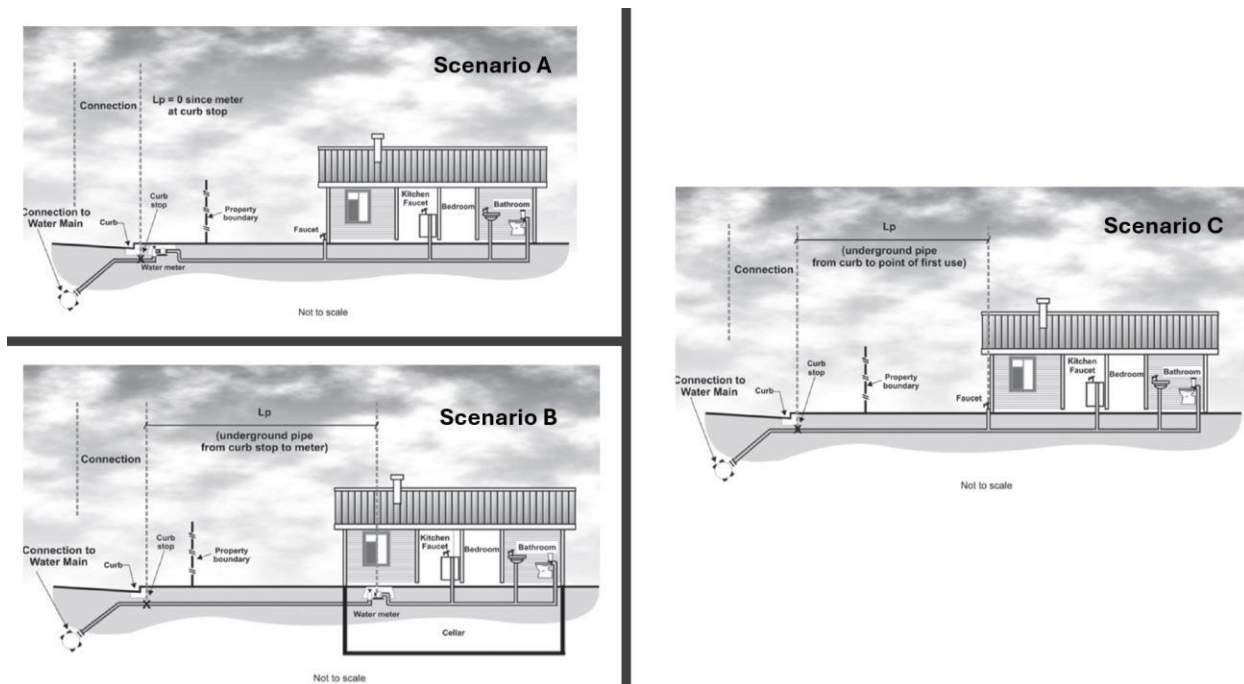


Figura 5-3 Configurația de măsurare (AWWA, 2016).

5.1.2.3 Calculul scurgerii de fond

Înainte de a prezenta formulările de calcul, este necesar să clarificăm relația dintre ratele unităților de scurgere de fond din Tabelul 5-2 și reperul Inevitabil al Pierderilor Reale Anuale (UARL), care este dezvoltat integral în Secțiunea 5.2.2.

UARL reprezintă cel mai mic volum tehnic realizabil de pierderi reale într-un sistem de distribuție bine gestionat și bine întreținut. Nu este o singură mărime omogenă — ea cuprinde trei componente distincte inevitabile prezente în fiecare rețea presurizată, indiferent de calitatea managementului: scurgeri de fond inevitabile, pierderi minime din defecțiuni raportate sub standarde optime de reparație și pierderi minime din defecțiuni neraportate sub controlul activ optim al scurgerilor. Formula UARL:

$$\text{UARL (l/zi)} = (18 \times \text{ML} + 0,8 \times \text{NC} + 25 \times \text{Lp}) \times \text{AZP}$$

Unde: ML = lungimea rețelei principale (km); NC = numărul de conexiuni de serviciu; Lp = lungimea totală a conductelor subterane de serviciu deținute de client (km); AZP = Presiunea medie a zonei (m H₂O)

Utilizează trei coeficienți — 18 pe km de rețea electrică, 0,8 pe conexiune și 25 pe km de conductă de serviciu

— fiecare dintre ele fiind suma tuturor celor trei componente inevitabile ale pierderii pentru acea categorie de infrastructură. Ratele de scurgere de fond din Tabelul 5-2 (9,6, 0,6 și 16,9) reprezintă doar componenta de fond a acestor trei coeficienți. Componenta de fundal reprezintă aproximativ 53% din coeficientul rețelei, 75% din coeficientul de conexiune și 68% din coeficientul conductei de serviciu — restul fiind contribuții inevitabile la spargere. (Lambert și alții, 1999; Fanner & Thornton, 2005).

Această distincție este fundamentală: calculul scurgerii de fond folosește ratele din Tabelul 5-2, nu coeficienții UARL. Contribuțiile raportate și neraportate la eșecuri la UARL sunt puse deoparte în această secțiune — ele sunt abordate în Secțiunea 5.1.3 (Scurgeri de explozii) și fac parte din volumul recuperabil deasupra podelei de fundal. Întregul UARL — incluzând toate cele trei componente inevitabile — este folosit în Secțiunea 5.2.2 ca referință pentru Indicele de Pierdere a Infrastructurii (ILI = Pierderi Reale Curente / UARL).

Definind BL_0 ca scurgerea de fond la $ICF = 1.0$ — calculată din ratele doar de fond din Tabelul 5-2 aplicate infrastructurii DMA la presiunea sa de operare — scurgerea de fond pentru un DMA în condiția sa reală de infrastructură este:

$$BL_{DMA} = BL_0 \times ICF$$

Aceasta este relația centrală a Secțiunii 5.1.2. BL_0 reprezintă pierderile minime ireductibile de fond în DMA, presupunând starea medie a infrastructurii. ICF scalează acest minim în sus sau în jos pentru a reflecta starea reală a rețelei de conducte. Un DMA în stare bună ($ICF < 1.0$) are un etaj de fundal sub BL_0 ; un DMA în stare proastă ($ICF > 1.0$) are un etaj de fundal deasupra BL_0 . Cadrul original Managing Leakage a definit trei valori ICF de referință — Bună (0,5), Medie (1,0), Slabă (1,5) — ca presupuneri implicite în absența datelor specifice locației. Determinările pe teren au demonstrat că valorile reale ale ICF pot depăși mult acest interval, așa cum este discutat în Secțiunea 5.1.2.4.

Gestionarea scurgerilor / formularea BABE

Formularea Managing Leakage calculează BL_0 din ratele unitare din Tabelul 5-1 la presiunea de referință de 50m, apoi aplică corecția presiunii și ICF în doi pași expliciti:

Pasul 1 — Calculați scurgerile de fond de referință la $ICF = 1.0$:

$$BL_0 = [(L_m \times F_m) + (N_c \times F_c)] \times (AZNP/50)^{N1} \times NDF$$

Pasul 2 — Aplică condițiile infrastructurii:

$$BL_{DMA} = BL_0 \times ICF$$

Unde: L_m = lungimea rețelei principale (km); F_m = unitate de rată de pierdere de fond pentru rețea la presiune de 50 m (l/km/oră), conform Tabelului 5-1; N_c = numărul de conexiuni de serviciu; F_c = rata unitară de pierdere de fond pentru conexiunile de serviciu la presiune de 50m (l/conn/hr), conform Tabelului 5-1; $AZNP$ = Presiunea medie de noapte în zonă (m) — presiunea la DMA la momentul MNF; $N1$ = exponentul presiunii-scurgere — luat ca 1,5 pentru scurgerile de fond indiferent de materialul țevii (Lambert, 1994; Fanner & Thornton, 2005); NDF = Night Day Factor (Secțiunea 4.2.4) — convertește rata de scurgere de fond pe timp de noapte într-un volum zilnic; ICF = Factor de stare a infrastructurii (Secțiunea 5.1.2.4)

Pentru sistemele în care contorul este amplasat dincolo de oprirea bordurii ($L_p > 0$), se adaugă un al treilea termen la Pasul 1:

$$BL_0 = [(L_m \times F_m) + (N_c \times F_c) + (Lp_{km} \times F_{sp})] \times (AZNP/50)^{N1} \times NDF$$

Unde Lp_{km} este lungimea totală a conductelor subterane de serviciu deținute de client (km) și F_{sp} este rata unitară de pierdere de fond pentru conductele de serviciu clienți la o presiune de 50 m (l/km/oră), derivată din rata de presiune referențială IWA: $F_{sp} = (16,9 \times 50) / 24 \approx 35,2$ l/km/h.

Formulare IWA cu referință la presiune

Formularea IWA folosește ratele doar de fund, referențiate la presiune, din Tabelul 5-2, care exprimă pierderile de fond direct ca volum zilnic, fără un pas separat de corecție a presiunii:

Pasul 1 — Calculați scurgerile de fond de referință la $ICF = 1.0$:

$$BL_0 (l/zi) = [(9,6 \times ML) + (0,6 \times NC) + (16,9 \times Lp_{km})] \times AOP$$

Pasul 2 — Aplică condițiile infrastructurii:

$$BL_{DMA} = BL_0 \times ICF$$

Unde: ML = lungimea rețelei principale (km); NC = numărul de conexiuni de serviciu; Lp_{km} = lungimea totală a conductelor subterane de serviciu deținute de clienți (km); zero acolo unde sunt contoarele la oprirea trotuarului. Unde Lp este măsurat în metri pe conexiune, converțiți: $Lp_{km} = (Lp_m \times NC) / 1000$; AOP = Presiunea medie de operare (m) — presiunea medie la AZP pe întreaga perioadă de 24 de ore; ICF = Factor de Stare a Infrastructurii (Secțiunea 5.1.2.4).

Această formulare folosește AOP în loc de $AZNP$ deoarece ratele referențiate la presiune produc direct un volum zilnic, variabilitatea presiunii pe parcursul celor 24 de ore fiind capturată implicit prin AOP , nu printr-un pas NDF separat. Formularea presupune un răspuns liniar la presiune ($N1 = 1,0$ în definiția ratei unitare). Atunci când presiunea de funcționare este substanțial în afara intervalului tipic, formularea Managementului Scurgerii cu $N1 = 1,5$ este mai precisă și ar trebui preferată, deoarece răspunsul neliniar la presiune la scurgerile de fond devine material la aceste intervale de presiune.

Ambele formulări calculează BL_0 la $ICF = 1.0$ ca prim pas și aplică ICF într-un al doilea pas, făcând ca $BL_{DMA} = BL_0 \times ICF$ să fie explicit și consistent în ambele abordări. Tabelul 5-3 ilustrează calculul scurgerii de fond pentru două exemple de DMA-uri folosind formularea Managing Leakage pe trei valori ICF .

Tabelul 5-3 Exemplu de calcul al pierderii de fond

		ICF	0.5	1.0	1.5
Component	Units	Good	Average	Poor	
Mains	l/km/hr at 50m	20	40	60	
Connections	l/prop/hr at 50m	1.75	3.5	5.25	
DMA 1		Good	Average	Poor	
42 km	Mains Background Losses (l/h)	834	1,667	2,501	
8,590 Connections	Connections Background Losses (l/h)	15,033	30,065	45,098	
Total Background Losses (l/h)		15,866	31,732	47,598	
DMA 2		Good	Average	Poor	
37 km	Mains Background Losses (l/h)	749	1,499	2,248	
7,510 Connections	Connections Background Losses (l/h)	13,143	26,285	39,428	
Total Background Losses (l/h)		13,892	27,784	41,676	

Rezultatele confirmă că ICF are un efect mai mare asupra scurgerii de fond calculate decât orice altă variabilă individuală. Fanner & Thornton (2005) au demonstrat prin analiza sensibilității că o incertitudine de factor de doi în ICF produce o incertitudine de factor de doi în volumul recuperabil estimat — făcând ca determinarea precisă a ICF să fie cel mai important pas individual în analiza componentelor.

5.1.2.4 Determinarea ICF-ului pentru un DMA

ICF-ul nu poate fi măsurat direct — trebuie dedus din măsurători de teren, date operaționale sau indicatori proxy. Trei metode sunt descrise aici în ordine crescătoare a fiabilității (Fanner & Thornton, 2005). Analistul ar trebui să folosească cea mai bogată metodă de date disponibilă pentru fiecare DMA.

Metoda 1 — Aproximare de screening de la ILI

În absența măsurătorilor pe teren sau a istoricului operațional, o primă aproximare practică este:

$$ICF \approx ILI$$

unde ILI = Pierderi reale anuale curente / UARL. Această aproximare a fost observată în mai multe sisteme și este recomandată ca instrument inițial de screening (Fanner & Thornton, 2005). Se menține atunci când DMA a fost recent măsurat, scurgerile de curent sunt aproape minime, iar scurgerile dominante rămase sunt de natură de fundal.

Aproximația devine nesigură în trei circumstanțe: când DMA conține o scurgere semnificativă de explozie neraportată, încă nedetectată; unde pierderile aparente sunt caracterizate slab, ceea ce face ca pierderile reale din Balanțul Apei să fie nesigure; și la valori ILI ridicate, de obicei peste 3, unde relația dintre ILI și ICF diverge (Fanner & Thornton, 2005). În aceste cazuri, ar trebui folosite Metodele 2 sau 3.

Metoda 2 — Testul Treptelor de Presiune N1

Un test cu trepte de presiune efectuat în fereastra MNF permite descompunerea semnalului de scurgere în componente cu arie fixă (burst) și cu arie variabilă (fundal) folosind

Relația FAVAD. ICF este derivat prin compararea componentei de fundal calculată cu BL_0 la $ICF = 1.0$:

$$ICF = \text{Scurgerea de fond din testul de pas} / BL_0 \text{ (ICF} = 1.0\text{)}$$

Această metodă a fost demonstrată pentru o zonă din Boston, SUA (West Roxbury / Roselindale), producând $ICF = 1,6$ dintr-o scurgere de fond măsurată de 8,02 l/s față de un BL_0 calculat de 4,92 l/s (Fanner & Thornton, 2005). Metoda este aplicabilă doar sistemelor rigide de țevi unde valoarea $N1$ a exploziei este aproximativ 0,5. În rețelele cu conducte predominant din plastic, exploziile cu arie variabilă nu pot fi diferențiate de scurgerile de fond folosind testul în trepte, iar ICF -ul rezultat va fi supraestimat. Pentru rețelele cu dominanță plastică, Metoda 3 este preferată.

Metoda 3 — Măsurarea câmpului pornind de la scurgerile minime realizabile

Cea mai fiabilă determinare a ICF necesită determinarea DMA la cel mai scăzut nivel de scurgere realizabil printr-o campanie cuprinzătoare de control activ al scurgerii, apoi măsurarea scurgerii reziduale în condiții stabile de frontieră și presiune cunoscută:

$$ICF = \text{Scurgeri reziduale după campania ALC} / BL_0 \text{ (ICF} = 1.0, \text{ajustat la presiune)}$$

Aceasta este măsurarea definitorie a ICF (Fanner & Thornton, 2005) și singura metodă care măsoară direct fundalul de fundal, în loc să îl deducă din proxy-uri. Determinările de teren realizate în dezvoltarea acestui ghid au produs valori ICF variind între 4 și 27, confirmând că scurgerile de fond în DMA-uri sever degradate pot fi de 4 până la 27 (Thornton, 2007) înmulțite cu BL_0 . Aceste valori nu sunt anomalii — ele reflectă o deteriorare reală a infrastructurii în sistemele unde starea conductelor a scăzut mult dincolo de intervalul de referință al Gestionării Scurgerilor.

În DMA-uri unde Metoda 3 produce valori ICF peste aproximativ 2,0, scurgerea de fond domină pierderile reale totale, iar volumul recuperabil este substanțial mai mic decât sugerează reperul UARL. În aceste DMA-uri, gestionarea presiunii sau înlocuirea infrastructurii va asigura o reducere mai mare și mai sustenabilă a scurgerilor decât campaniile active de control al scurgerilor. Aceasta este una dintre cele mai semnificative concluzii operaționale la care poate ajunge analiza componentelor — și nu poate fi atinsă fără o determinare ICF de încredere.

Metoda 3 este consumatoare de resurse și este recomandată special pentru: DMA-uri unde Metodele 1–

2 indică ICF peste 2,0; DMA-uri care nu reușesc în mod repetat să atingă ținta de scurgere, în ciuda unui control activ intensiv al scurgerilor; și DMA-urile evaluate pentru deciziile de investiții în infrastructură, unde acuratețea estimării volumului recuperabil este semnificativă financiar.

Unde ICF nu poate fi determinat prin nicio metodă, ar trebui aplicat implicit $ICF = 1.0$, reprezentând condiția medie a infrastructurii. Acest default implică cea mai mare incertitudine și va supraestima volumul recuperabil în rețelele degradate. Orice analiză folosind $ICF =$

Default-ul 1.0 ar trebui să fie clar marcat ca fiind supus incertitudinii condiției infrastructurii.

Sensibilitatea analizei componentelor la ICF

Deoarece $BL_{DMA} = BL_0 \times ICF$ este liniar în ICF, volumul recuperabil estimat este direct sensibil la valoarea presupusă. Tabelul 5-4 ilustrează această sensibilitate pentru cele două exemple de DMA-uri, variind ICF de la 1.0 la 5.0. Rezultatele demonstrează că o eroare ICF de factor doi — presupunând ICF = 1,0 când valoarea reală este 2,0 — înjumătățește volumul recuperabil estimat și produce un program activ de control al scurgerilor care va performa constant sub nivelul țintelor sale.

Tabelul 5-4 Exemplu de calcul al pierderii de fond

ICF	DMA 1 ML = 12 km · NC = 1500 · AOP = 65 m · RL = 420 m ³ /zi · ILI = 4,6				DMA 2 ML = 15 km · NC = 2000 · AOP = 42 m · RL = 510 m ³ /zi · ILI = 6,5			
	BL ₀ (m ³ /zi)	BL _{DMA} (m ³ /zi)	Volum recuperabil (m ³ /zi)	Recuperabil (%)	BL ₀ (m ³ /zi)	BL _{DMA} (m ³ /zi)	Volum recuperabil (m ³ /zi)	Recuperabil (%)
0.5 (bine)	66.0	33.0	387.0	92%	56.4	28.2	481.8	94%
1.0 (medie)	66.0	66.0	354.0	84%	56.4	56.4	453.6	89%
1.5 (sărac)	66.0	99.0	321.0	76%	56.4	84.7	425.3	83%
2.0	66.0	132.0	288.0	69%	56.4	112.9	397.1	78%
2.5	66.0	165.0	255.0	61%	56.4	141.1	368.9	72%
3.0	66.0	198.0	222.0	53%	56.4	169.3	340.7	67%
4.0	66.0	264.0	156.0	37%	56.4	225.8	284.2	56%
5.0	66.0	329.9	90.1	21%	56.4	282.2	227.8	45%
■ ICF 0.5-1.5 — Gestionarea intervalului de referință pentru scurgeri (stare bună până la proastă)								
■ ICF 2.0 — Prag: scurgerile de fond încep să domine; Intervenția în infrastructură este justificată								
■ ICF 3.0-5.0 — Infrastructură sever degradată; Interval confirmat pe teren 4-27 (această îndrumare)								

Tabelul 5-4 demonstrează că volumul recuperabil estimat este foarte sensibil la ICF presupus. La ICF = 1,0 (stare medie), DMA 1 pare să ofere 354 m³/zi de scurgeri recuperabile (84% din pierderile reale totale), iar DMA 2 oferă 454 m³/zi (89%). Dacă adevăratul ICF de DMA 1 este 2,0 — o valoare pe care determinările de câmp o produc regulat — volumul recuperabil scade la 288 m³/zi, ceea ce înseamnă că ipoteza ICF = 1,0 a supraestimat oportunitatea de reducere cu 66 m³/zi. Un program activ de control al scurgerilor, conceput în jurul acestei cifre, va subperforma sistematic, iar deficitul va fi atribuit greșit ineficienței detecției, nu unei presupunerii ICF incorecte. La ICF = 3,0, scurgerea de fond reprezintă 47% din pierderile reale totale ale DMA 1 ; la ICF = 5,0, doar 21% din pierderile reale rămân recuperabile prin activități de tip find and fix. Determinările pe teren realizate în dezvoltarea acestui ghidaj au generat ICF

valori de până la 27, moment în care planșeul de fundal consumă efectiv toate pierderile reale măsurate, iar campaniile de detectare încetează să mai ofere reduceri susținute.

Tabelul arată, de asemenea, că DMA-urile cu presiune înaltă sunt mai sensibile la incertitudinea ICF decât cele cu presiune joasă. DMA 1 la o presiune medie de 65m are un BL_0 care reprezintă 16% din pierderile sale reale totale; DMA 2 la 42m are BL_0 la 11%. Cu cât presiunea de operare este mai mare, cu atât impactul unei erori ICF asupra estimării volumului recuperabil este mai mare, făcând DMA-urile de înaltă presiune candidații prioritari pentru determinarea ICF-ului pe teren. Concluzia practică pentru analist este că, acolo unde ICF — sau proxy-ul său de screening, ILI — este sub 2,0, controlul activ al scurgerilor este intervenția primară adecvată, iar estimarea volumului recuperabil este de încredere. Atunci când ICF depășește 2.0, scurgerile de fond sunt semnificative, iar strategia trebuie să abordeze condiția infrastructurii, nu doar detectarea exploziilor. Această concluzie nu poate fi atinsă doar din pierderile reale totale — necesită analiza componentelor pe care o oferă Secțiunea 5.1.2.

Așa cum concluzionează Fanner & Thornton (2005), sensibilitatea analizei componentelor față de ICF înseamnă că măsurătorile de câmp pentru determinarea ICF-ului real al sistemului ar trebui ideal să precede orice analiză a componentelor.

5.1.3 SCURGERI DE SPARGERE

Scurgerile de spargere reprezintă volumul de apă pierdut prin evenimente discrete de defecțiune la conductele de distribuție, conexiunile de serviciu, fittingurile și valvele. Scurgerea de fundal este distribuită continuu între micro-defecte și nu poate fi redusă prin activități de tip "găsește și repară". Scurgerile de spargere, în schimb, constau în evenimente individuale de defecțiune care pot fi localizate și reparate. Prin urmare, este componenta principală a volumului recuperabil stabilit în Secțiunea 5.1.1 și Secțiunea 5.1.2.

5.1.3.1 *Explozii raportate și neraportate*

Secțiunea 5.1.1 a definit exploziile raportate și neraportate ca fiind cele două componente ale volumului recuperabil. Distincția este semnificativă din punct de vedere operațional pentru metoda de estimare dezvoltată în Secțiunea 5.1.3.2, deoarece cele două tipuri de rafale au profiluri de durată fundamental diferite.

Sunt vizibile explozii raportate. Sunt identificate rapid și reparate prompt. Durata lor totală de funcționare este de obicei măsurată în ore până la zile. Deși adesea au debite ridicate, durata lor scurtă menține volumul anual de scurgeri mic.

Exploziile neraportate nu sunt vizibile. Detectarea depinde de monitorizarea pe linie de noapte sau de sondajele active de detectare a scurgerilor, iar localizarea defectului necesită o investigație specializată pe teren. Durata lor de funcționare este măsurată de la săptămâni la luni, iar în sistemele reactive poate ajunge la ani. Debitele individuale scăzute la conexiunile și racordurile de serviciu agravează acest efect: o scurgere mică care curge la 0,4 m³/h timp de 200 de zile contribuie cu 1.920 m³ — un volum pe care o explozie principală la 3,0 m³/h l-ar acumula în doar 27 de zile. Combinația dintre frecvența ridicată, timpul lung de funcționare și dominanța conexiunilor de serviciu face ca scurgerile de explozie neraportate să fie componenta principală a volumului recuperabil în majoritatea DMA-urilor gestionate activ.

Aceste profiluri contrastante de timp de execuție stau la baza modelului de pierdere al componentelor dezvoltat în Secțiunea 5.1.3.2. Figura 5-4 ilustrează ambele profiluri din linia de noapte DMA.

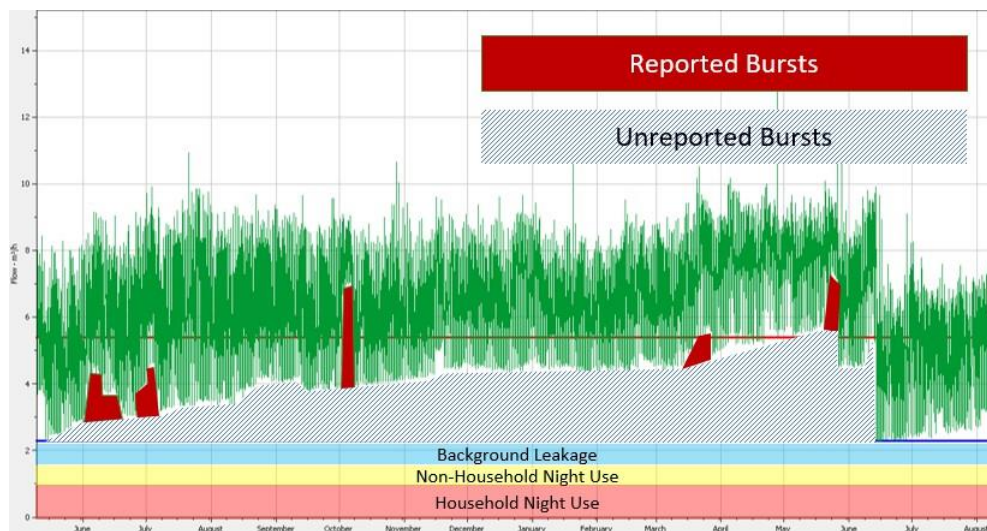


Figura 5-4 Scurgerea de explozie DMA.

5.1.3.2 Estimarea scurgerii de explozie

Scurgerea totală de explozie într-un DMA poate fi estimată folosind un model de pierdere a componentelor. Pierdere totală de apă dintr-un eveniment de explozie este o funcție a debitului și duratei. Durata exploziei este suma a trei intervale, definite în Figura 5-5 și Tabelul 5-5.

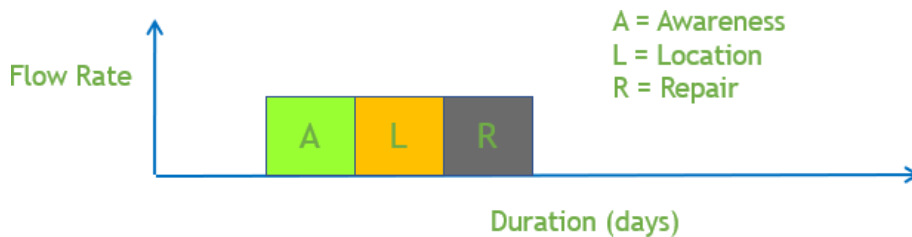


Figura 5-5 Componentele timpului de scurgere a exploziei.

Tabelul 5-5 Componente ale timpului de scurgere în explozie.

Componentă	Definiție
(A) Timpul de Conștientizare	Timpul necesar pentru a deveni conștient că a izbucnit o explozie Rețeaua.
(L) Timpul locației	Timpul necesar pentru a găsi o spargere și a o localiza pe o porțiune de țevă.
(R) Timpul de reparație	Durata necesară pentru efectuarea unei reparații, după ce a avut loc o explozie Precis.

Durata exploziei este:

$$\text{Durata exploziei} = A + L + R$$

Fiecare componentă a duratei exploziei este derivată din înregistrările operaționale. Acolo unde nu există înregistrări specifice DMA, folosiți valori medii derivate din istoricul operațional din cadrul aceleiași utilități sau district.

Pentru exploziile raportate, timpul de conștientizare (A) este intervalul dintre apariția estimată a exploziei și primul raport al clientului sau personalului. Pentru exploziile neraportate, A este intervalul dintre ultima citire clară a liniei de noapte și data detectării de către controlul activ al scurgerii. Timpul de localizare (L) este intervalul dintre expedierea echipei de detecție și confirmarea poziției exploziei. Timpul de reparație (R) depinde de metoda de reparație. Unele reparații necesită întreruperea serviciului; altele sunt realizate pe o rețea principală activă fără a întrerupe aprovizionarea. Pentru reparațiile care necesită întrerupere a serviciului, R se termină la închiderea supapei. Fluxul prin explozie se oprește la oprire. Folosirea completării reparației ca punct final supraestimează volumul de explozie. Pentru reparațiile cu service real, R se termină la finalizarea reparației deoarece fluxul continuă până la efectuarea reparației.

În practică, înregistrările individuale ale exploziilor sunt adesea incomplete, iar timpii de conștientizare și locație nu sunt întotdeauna înregistrate. În aceste cazuri, se folosesc valorile medii ale duratei rafalei după tipul rafalei, derivate din istoricul operațional. Tabelele 5-6 prezintă intervale de durată implicite din practicile industriei apei din Marea Britanie (UKWIR, 2006) pentru referință.

Tabelul 5-6 Intervale de durată implicite a rafalei pe categorii (UKWIR, 2006).

Categorie	A + L + R (zile)
Spargere raportată — rețea principală	0.5 -2
Explozie raportată — conexiune de serviciu	1 - 10
Explozie neraportată — rețea electrică (ALC activ)	10 - 60
Rafală neraportată — conexiune de serviciu (ALC activ)	60 – 300
Explozie neraportată — orice categorie (doar reactivă)	200 - 730

Volumul de explozie per scurgere este calculat astfel:

$$\text{Volumul de explozie} = \text{Debitul de explozie} \times \text{durata exploziei}$$

Contribuția medie zilnică la scurgeri a unei explozii pe o perioadă anuală de analiză este:

$$\text{Scurgeri medii zilnice pe explozie} = \frac{\text{Volum de explozie}}{365}$$

Când parametrii medii ai exploziei sunt aplicați pe toate exploziile înregistrate într-un DMA pe parcursul unui an, scurgerile totale anuale de explozie sunt:

$$\text{Scurgerea de explozie} = \text{Frecvența exploziei} \times \text{Scurgerile medii zilnice pe rafală}$$

Debitele de spargere variază foarte mult în funcție de tipul de cedare, categoria infrastructurii, diametrul conductei, material și locație. Debitul exploziilor individuale poate fi estimat din reducerea MNF-ului nocturn observată înainte și după reparație. Acolo unde calitatea datelor nighttime este suficientă, această metodă este preferată deoarece reflectă condițiile reale din DMA. Atunci când datele de pe linia de noapte nu sunt fiabile sau reparația este prea mică pentru a produce o reducere detectabilă a liniei de noapte, se folosesc valorile medii pe categoria infrastructurii. Sunt disponibile trei niveluri de valori

medii în ordine crescătoare de generalitate: valori specifice DMA, derivate din istoricul local al reparațiilor, companie- sau zonă-

valori de nivel calibrate față de datele de linie de noapte și valori implicite din industrie, cum ar fi cele din Tabelul 5-7.

Tabelele 5-7 Debite de explozie reprezentative pe categorii de infrastructură (UKWIR, 2006).

Tip de rafală	Debit (m3/h)
Scurgerea de la rețea principală	3.00
Accesorii de rețea	0.15
Conducta de comunicație (conexiune de serviciu deținută de utilități)	0.40
Conductă de alimentare (conexiune de serviciu deținută de client)	0.40
Racordarea conductelor de comunicație și alimentare	0.10

Conductele de comunicație și conductele de alimentare — cele două categorii de conexiuni de serviciu — reprezintă cel mai frecvent tip de defectare în majoritatea DMA-urilor, în concordanță cu dominanța conexiunilor de serviciu stabilită în Secțiunea 5.1.2. Debitele lor individuale sunt mai mici decât cele ale defecțiunilor rețelei, dar frecvența lor ridicată face ca contribuția cumulativă la scurgerile totale ale exploziei să fie substanțială.

Figura 5-6 ilustrează componentele volumului de explozie pentru o scurgere tipică neraportată de conductă de serviciu. Figurile 5-7 arată scurgerile anuale rezultate pentru un DMA cu zece explozii neraportate pe an la debitul reprezentativ al conductei de serviciu.

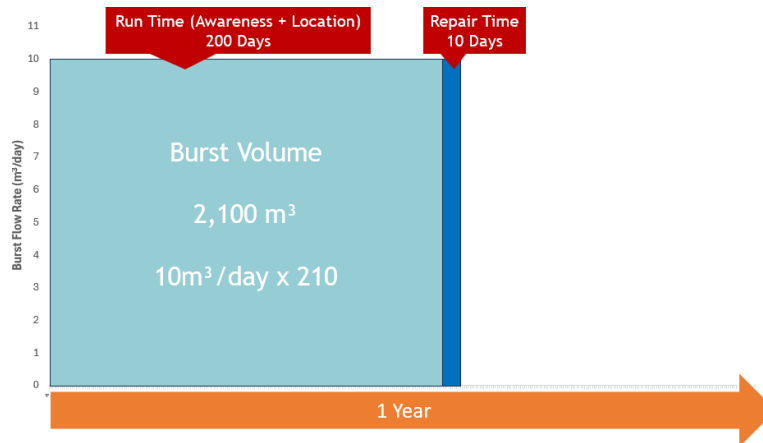


Figura 5-6 Volumul anual de explozii.

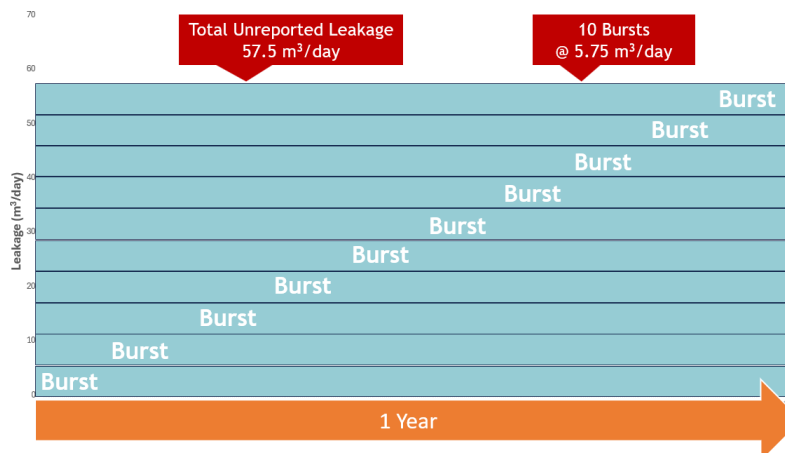


Figura 5-7 Scurgerea de explozie DMA.

5.2 DEFINIREA POLITICII PRIVIND SCURGERILE ȘI A ȚINTELOR DE REDUCERE

5.2.1 MANAGEMENTUL SCURGERILOR

Utilitățile de apă gestionează scurgerile pentru a atinge două obiective. Primul obiectiv este menținerea scurgerii la sau sub un nivel țintă în întreaga rețea. Al doilea obiectiv este reducerea scurgerii către niveluri țintă mai scăzute acolo unde este necesar. Menținerea performanței are prioritate; O utilitate urmărește ținte de reducere odată ce scurgerile sunt sub control. Nivelurile țintă depind de circumstanțele fiecărei utilități de apă.

Managementul scurgerilor se bazează pe patru piloni: Managementul Presiunii, Controlul Activ al Scurgerilor, Managementul Reparațiilor și Managementul Infrastructurii. Figurile 5-8 ilustrează acești piloni și relațiile lor. Fiecare stâlp este descris în această secțiune.

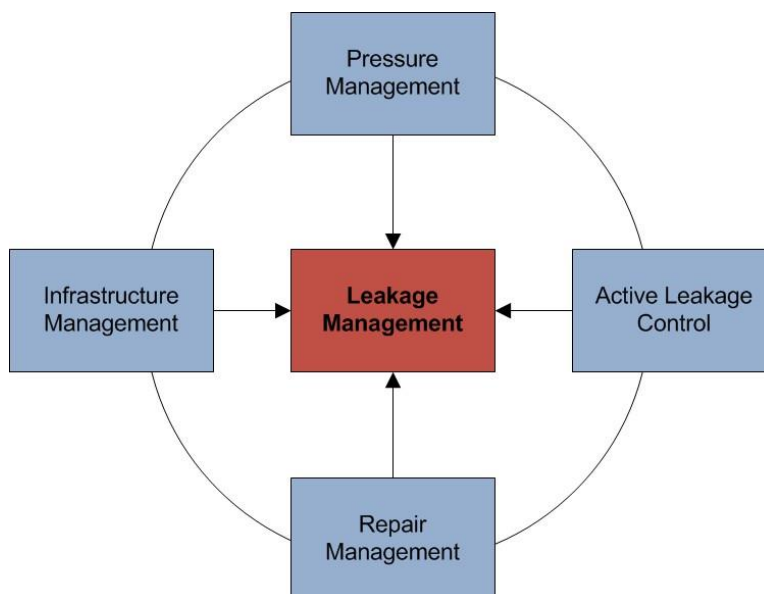


Figura 5-8 Patru piloni ai managementului scurgerilor.

Cei patru piloni sunt aplicați în ordinea creșterii costurilor și timpului pentru a livra rezultate. O utilitate de apă ar trebui mai întâi să îmbunătățească răspunsul la reparații — reducând timpul de conștientizare, localizare și reparare a exploziilor — deoarece această acțiune nu necesită investiții de capital și produce reduceri imediate ale scurgerii de explozie. Acolo unde scurgerile neraportate rămân ridicate, controlul activ al scurgerilor detectează și repară scurgerile pe care doar managementul reparațiilor nu le găsește. În cazul în care scurgerile de fond sau frecvența exploziilor este ridicată, în ciuda unei gestionări eficiente a ALC-ului și a reparațiilor, managementul presiunii reduce presiunea rețelei pentru a reduce ambele componente. În cazul în care starea conductei s-a degradat atât de mult încât gestionarea presiunii nu poate atinge ținta de scurgeri, este necesară înlocuirea sau recondiționarea infrastructurii.

Fiecare pilon succesiv necesită investiții de capital mai mari și oferă rezultate pe o perioadă mai lungă. În practică, toți cei patru piloni funcționează simultan. Secvența definește ordinea în care trebuie prioritizată investiția atunci când resursele sunt limitate.

5.2.1.1 *Managementul Reparațiilor*

Managementul reparațiilor este repararea la timp a scurgerilor identificate prin ALC sau raportate de clienți și personal. Scopul său este de a limita durata spargerii și de a preveni acumularea scurgerilor nereparate.

Timpii mai lungi de reparație cresc volumul pierdut la fiecare explozie și determină creșterea scurgerii. Restanțele extinse de scurgeri nereparate fac din ce în ce mai dificilă menținerea nivelurilor țintă de scurgeri și cresc riscul de întreruperi în aprovizionare și plângeri ale clienților.

Timpul de reparație poate fi redus printr-o expediție eficientă, o coordonare eficientă între echipele de detectare și reparații și o mobilizare rapidă odată ce a fost localizată o explozie. Managementul reparațiilor depinde de ALC pentru a localiza exploziile la aproximativ un metru înainte de începerea săpăturilor.

Performanța managementului reparațiilor este limitată de mai mulți factori. Activitatea exploziilor crește în condiții meteo nefavorabile, iar resursele de reparații pot fi insuficiente pentru a satisface cererea în aceste perioade. Reparațiile individuale pot fi, de asemenea, întârziate din cauza cerințelor de management al traficului, consimțământului clienților, aprobărilor de reglementare și necesitatea programării întreruperilor de aprovizionare.

5.2.1.2 *Controlul activ al scurgerilor*

Controlul Activ al Scăpărilor (ALC) este detectarea și repararea sistematică a scurgerilor subterane înainte ca acestea să iasă la suprafață. ALC este obligată să contracareze Rata Naturală de Creștere a scurgerii — rata la care apar noi scurgeri pe rețea (Secțiunea 5.2.2.5). Fără ALC, se acumulează scurgeri noi, iar scurgerile cresc continuu.

Performanța ALC se îmbunătățește prin localizarea scurgerilor care nu au fost detectate anterior, atât în interiorul DMA-urilor, cât și pe activele din afara limitelor DMA-urilor, și prin reducerea timpului necesar pentru a fi conștient și localizat de fiecare explozie.

Eficacitatea ALC depinde de competența și experiența personalului de detectare și de adecvarea echipamentelor utilizate. Instrumentele de detecție variază de la stick-uri de ascultare și microfoane de masă până la corelatoare, înregistratoare de zgomot și hidrofoane. Fiecare instrument are aplicații și limitări specifice. Nicio tehnologie unică nu este potrivită pentru toate scenariile de detectare.

Detecția scurgerilor este mai dificilă în zonele rurale, pe conductele principale și în medii urbane aglomerate. Gestionarea presiunii reduce debitele de explozie, ceea ce poate face ca scurgerile să fie mai greu de detectat acustic. ALC și managementul reparațiilor sunt interdependente: practicile proaste de reparație reduc economiile de scurgeri pe care le obține ALC. ALC-ul singur nu poate reduce nivelurile de scurgere de fond sau frecvența de burst.

Figurile 5-9 ilustrează descompunerea prin scurgere pentru un DMA. Scurgerile totale sunt de 117,5 m³/zi, compuse din scurgeri de fond (50 m³/zi), scurgeri raportate de explozie (10 m³/zi) și scurgeri neraportate de explozie (57,5 m³/zi) provenite din 10 explozii, cu o medie de 5,75 m³/zi fiecare. Ținta de scurgere este de 100 m³/zi. Volumul recuperabil — diferența dintre scurgerile

totale și cele de fond — este de 67,5 m³/zi.

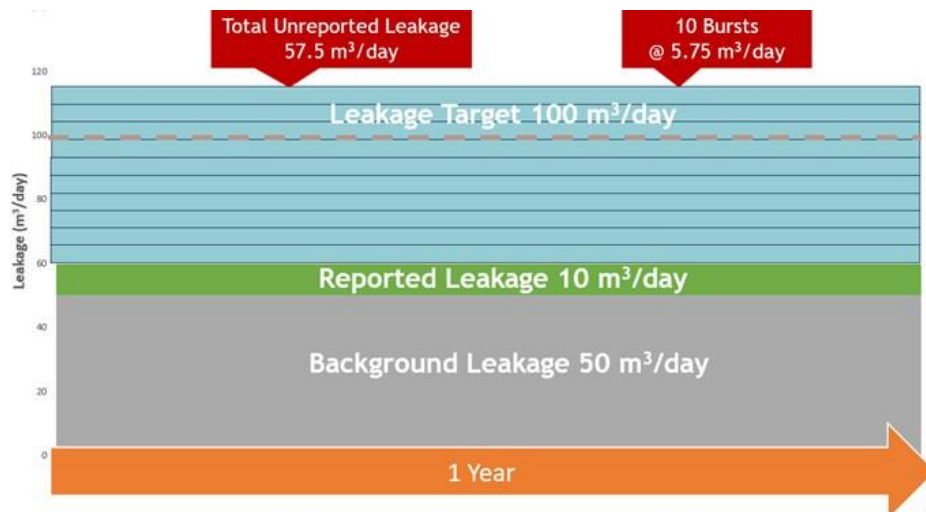


Figura 5-9 DMA Scurgeri totale.

Figurile 5-10 arată că același DMA după detectarea și repararea mai rapide reduce durata medie a exploziei, scăzând scurgerile medii pe explozie de la 5,75 m³/zi la 4 m³/zi. Cu frecvența și debitul exploziilor neschimbate, scurgerile totale neraportate scade la 40 m³/zi, iar scurgerile totale DMA ajung exact la 100 m³/zi — ținta de scurgere este atinsă exclusiv prin îmbunătățirea timpului de răspuns la reparație.

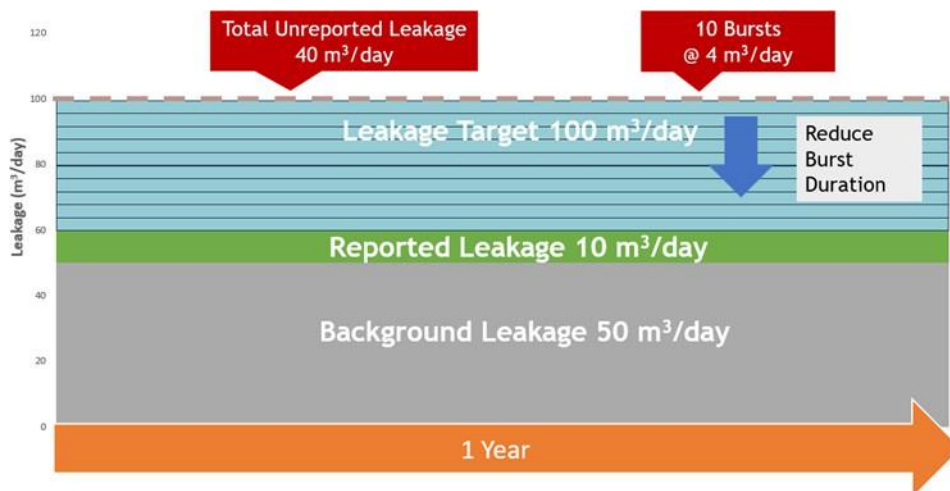


Figura 5-10 Reducerea duratei exploziei.

5.2.1.3 Gestionarea presiunii

Managementul presiunii controlează presiunea rețelei prin scheme de management al presiunii pentru a reduce scurgerile de fond și a limita frecvența exploziilor. Presiunea mai scăzută reduce forța exercitată asupra pereților țevilor, ceea ce scade atât rata de scurgere de fond, cât și viteza cu care se dezvoltă noi explozii.

Performanța gestionării presiunii se îmbunătățește prin instalarea unor scheme noi și optimizarea celor existente. Când este proiectată și operată corect, managementul presiunii reduce atât scurgerile de fond, cât și cele din cauza spargerii. Presiunea minimă în orice parte a rețelei trebuie

Rămâneți peste nivelul necesar de servicii pentru toți clienții în orice moment. Această constrângere limitează cât de mult poate fi redusă presiunea.

Gestionarea presiunii poate reduce debitele exploziilor nedetectate și, astfel, poate reduce scurgerile; totuși, nu elimină defecțiunile subiacente și nu trebuie folosit ca substitut pentru detectarea și repararea exploziilor, deoarece acest lucru ar masca pierderi reale și ar produce cifre de scurgere care nu reflectă starea reală a rețelei.

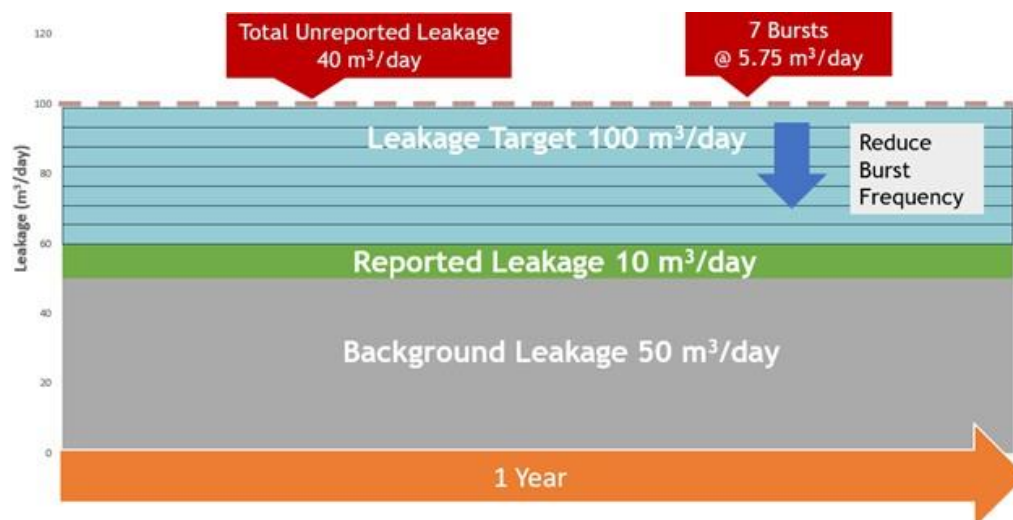


Figura 5-11 Reducerea frecvenței exploziilor.

Figura 5-11 arată aceeași DMA ca în Figura 5-9, unde frecvența exploziilor a fost redusă prin implementarea managementului presiunii. Pentru această ilustrație, se presupune că scurgerile pe explozie rămân neschimbate; totuși, în practică, poate fi și redusă.

5.2.1.4 Managementul infrastructurii

Managementul infrastructurii este înlocuirea sau recondiționarea planificată a conductelor și conexiunilor de serviciu care nu mai funcționează corespunzător. Resursele prioritare pentru intervenție sunt cele cu cele mai mari frecvențe de explozie, cele mai mari rate de scurgere de fond, probleme de calitate a apei sau performanțe slabe la presiune. Tehnicile de recondiționare includ căptușeala țevilor și spargerea țevilor, printre altele, și sunt aplicate acolo unde înlocuirea completă nu este necesară sau nu este justificată.

Gestionarea infrastructurii reduce atât scurgerile de fond, cât și frecvența exploziilor prin îmbunătățirea stării structurale a rețelei de conducte. Este intervenția primară adecvată atunci când ICF pentru un DMA depășează aproximativ 2.0 (Secțiunea 5.1.2.4), indicând că scurgerile de fond domină pierderile reale totale și că ALC singură nu poate atinge ținta de scurgere în mod sustenabil. Conexiunile de serviciu sunt o țintă prioritară deoarece acestea poartă cea mai mare pondere atât de scurgeri de fundal, cât și de scurgere de explozie în majoritatea DMA-urilor (Secțiunea 5.1.2, Secțiunea 5.1.3).

Performanța managementului infrastructurii se îmbunătățește prin extinderea scarei programelor de înlocuire și recondiționare și prin vizarea activelor care contribuie cel mai mult la scurgeri. Identificarea activelor cu cele mai slabe performanțe necesită o analiză statistică a istoricului exploziilor, a datelor despre scurgeri și

Vârsta și materialul țevii, deoarece starea conductei nu poate fi evaluată direct până când conducta nu este excavată. Managementul infrastructurii este cel mai intensiv în capital dintre cei patru piloni ai gestionării scurgerilor. Acest lucru limitează ritmul cu care pot fi implementate programele de înlocuire și recondiționare și face esențială prioritizarea corectă a activelor.

5.2.2 DETERMINAREA POLITICII MINIME PRIVIND SCURGERILE DMA

Secțiunea 5.1 a stabilit volumul recuperabil pentru fiecare DMA ca diferența dintre pierderile reale măsurate și scurgerile de fond ajustate la presiune. Acest volum recuperabil identifică cât de mult poate fi redus scurgerea, dar nu definește nivelul la care o utilitate ar trebui să stabilizeze fiecare DMA. Acest nivel este Politica Minimă de Scurgere DMA.

Politica DMA Skiage Minimum este cel mai scăzut nivel de scurgere care poate fi susținut realist într-un DMA conform practicii operaționale actuale a utilității. Nu este o valoare fizică fixă. Depinde de metodele de control al scurgerilor aplicate, intensitatea controlului activ al scurgerii, eficacitatea gestionării presiunii și starea rețelei de conducte (Creasey et al., 2004). Factorii care nu țin de controlul utilităților — cum ar fi tipul de sol — sunt fixi. Toți ceilalți factori pot fi îmbunătățiți prin schimbări de politică sau investiții.

Trei repere sunt folosite împreună pentru a determina politica minimă pentru un DMA:

- ◆ Pierderi Reale Anuale Inevitabile (UARL) — o limită inferioară teoretică calculată din caracteristicile fizice ale rețelei. Reprezintă scurgerile minime realizabile în condiții optime pentru toate componentele.
- ◆ Scurgerile Minime Realizate (MAL) — cel mai scăzut nivel de scurgere înregistrat istoric în DMA conform practicii operaționale actuale a utilității. Confirmă ceea ce s-a atins deja.
- ◆ Scurgerea Minimă Realizabilă (MAbL) — derivată din calculul scurgerii de fond din Secțiunea 5.1.2 la starea infrastructurii cunoscută sau estimată a DMA. Definește ce este fizic realizabil având în vedere starea actuală a rețelei.

Aceste trei repere încadrează intervalul realist de scurgere minimă pentru DMA. Ele oferă baza pentru stabilirea nivelului de ieșire, a țintei de scurgere și a nivelului de intrare care guvernează operațiunile active de control al scurgerilor (Secțiunea 5.2.3).

Odată ce nivelul minim de politică este stabilit, Rata Naturală de Creștere (Secțiunea 5.2.4) determină cât de repede crește scurgerile între intervențiile ALC. NRR transformă nivelul minim de politică într-o cerință de resurse ALC — frecvența și intensitatea campaniilor de detectare necesare pentru a menține scurgerile la sau în apropierea țintei.

5.2.2.1 Pierderi anuale reale inevitabile

UARL este introdus în Secțiunea 5.1.2.3 în contextul relației sale cu calculul scurgerii de fond . În Secțiunea 5.2.2, UARL servește drept reper teoretic inferior pentru Politica Minimă de Scurgere a DMA.

Fiecare coeficient UARL combină toate cele trei componente inevitabile ale pierderii — pierderea de fond, pierderile minime neraportate din explozii și pierderile minime raportate — pentru fiecare categorie de infrastructură. Tabelele 5-8 prezintă defalcarea completă din Lambert et al. (1999).

Tabelul 5-8 Decompunerea coeficienților UARL (Lambert et al., 1999)

Componenta de infrastructură	Pierderi de fond	Explozii raportate	Explozii neraportate	UARL Total	Unități
Echipe principale	9.6	5.8	2.6	18	Litri/km rețea/ Zi/metru de presiune
Conexiuni de serviciu, contoare la marginea străzii	0.60	0.04	0.16	0.80	Litri/Conexiune/ zi/metru de presiune
Țevi subterane între marginea străzii și clientul Metri	16.0	1.9	7.1	25	Litri/km u.g. conductă/ Zi/metru de presiune

Coloana de scurgeri de fond corespunde exact cu ratele IWA din Tabelul 5-2 din Secțiunea 5.1.2.3. Porțiunea rămasă din fiecărui coeficient este contribuția inevitabilă la explozie — pierderi care persistă chiar și sub management optim deoarece o parte din timpul de funcționare al rafale este ireductibil indiferent de intensitatea ALC sau viteza de reparare. De aceea UARL este întotdeauna mai mare decât scurgerile de fond și de aceea pierderile reale pot ajunge, dar nu pot atinge nivelul de scurgere de fond doar prin activități de găsim și reparare.

Ecuția standard UARL (Lambert et al., 1999) a fost derivată pentru sisteme cu peste 5.000 de conexiuni de serviciu și presiuni medii între 45 și 60 m H₂O. Majoritatea DMA-urilor individuale se află în afara acestor condiții — sunt sisteme mai mici, adesea operând la presiuni în afara acestui interval. În aceste cazuri, ecuația standard poate supraestima sau subestima pierderile reale inevitabile cu mai mult de 10%.

Cercetările asupra sistemelor mici din Austria au demonstrat acest efect: utilitățile bine gestionate, cu mai puțin de 3.000 de conexiuni de serviciu, au înregistrat constant pierderi reale sub UARL standard, producând valori ILI mai mici de 1,0 (Lambert et al., 2014). Aceasta nu este o eroare de echilibru al apei. Reflectă faptul că ecuația standard supraestimează minimul inevitabil pentru sistemele mici la aceste presiuni.

Factorul de Corecție al Sistemului (SCF) corectează acest lucru prin aplicarea unui multiplicator non-dimensional formulei standard UARL. Aceasta ia în calcul trei factori. În primul rând, rigiditatea materialului țevilor: urmând relația FAVAD, debitele de scurgere variază cu presiunea până la puterea 0,5 pentru țevi rigide și la puterea 1,5 pentru țevi flexibile și scurgeri de fond. În al doilea rând, frecvența exploziilor în sisteme mici: exploziile sunt evenimente rare și frecvențele medii supraestimează apariția lor așteptată; SCF folosește valori mediane derivate din distribuțiile de probabilitate Poisson. În al treilea rând, relația presiune-frecvență a exploziilor: presiunile mai mici reduc rata la care se dezvoltă noi explozii, iar acest efect este mai pronunțat în sistemele mici.

Pentru analiza la nivel DMA, UARL cu SCF este calculul recomandat. Ecuția standard fără

SCF este potrivită doar ca primă aproximație, acolo unde intrările SCF nu sunt

disponibil. Aceleași principii se aplică și calculului scurgerii de fond din Secțiunea 5.1.2, unde condiția infrastructurii și presiunea interacționează în moduri care sunt, de asemenea, sensibile la dimensiunea sistemului. Metodologia SCF este descrisă în Lambert (2020).

Tabelele 5-9 prezintă calculele UARL pentru două DMA cu caracteristici diferite. După cum se vede, DMA 1 are un UARL mai mare decât DMA 2, datorită influenței combinate a celor patru componente contribuente.

Tabelul 5-9 Exemplu de DMA pentru calculul UARL.

Componentă	DMA 1	DMA 2
Lungimea liniei principale (km)	10	29
Numărul de conexiuni	2,000	860
Lungimea conductei de serviciu (km)	29	12
Presiunea medie de funcționare (m)	25	35
Pierderi reale anuale inevitabile (1/zi)	62,625	52,850

Diferența dintre pierderile reale actuale și UARL este decalajul de scurgere bazat pe UARL — volumul maxim care teoretic ar putea fi eliminat dacă rețeaua ar funcționa în condiții optime. Tabelele 5-10 arată acest gol pentru cele două exemple de DMA-uri.

Tabelul 5-10 Scurgeri recuperabile folosind exemplul DMA UARL

Componentă	DMA 1	DMA 2
Pierderi reale (m ³ /zi)	207	151
Pierderi reale anuale inevitabile (m ³ /zi)	63	53
Scurgeri recuperabile (m³/zi)	144	98

DMA 1 are un spațiu de scurgere mai mare decât DMA 2. Acest lucru reflectă pierderile reale mai mari, nu o diferență de dimensiune a rețelei — DMA 2 are rețele de rețea mai lungi și un număr comparabil de conexiuni, dar o presiune mai mică produce un UARL mai mic.

UARL este un minim teoretic. O utilitate care operează conform practicii standard ALC nu va ajunge la UARL deoarece scurgerile de fond depinde de starea infrastructurii, care rareori se află la nivelul ICF = 0,5 presupus în derivarea UARL, și pentru că unele scurgeri neraportate de erupții persistă peste nivelul inevitabil. În cazul în care pierderile reale sunt egale sau sub UARL, DMA performează la sau aproape de cele mai bune practici, iar reducerea suplimentară necesită o schimbare a politicii privind scurgerile, nu un efort suplimentar ALC.

5.2.2.2 Scurgere minimă realizată

Scurgerea Minimă Realizată (MAL) este cel mai mic nivel valabil de scurgere înregistrat într-un DMA. Se determină prin analizarea datelor zilnice sau săptămânale MNF sau de scurgeri pe o perioadă istorică definită

— de obicei în ultimii cinci ani — pentru a identifica cele mai scăzute valori obținute după activitatea intensivă ALC. Figurile 5-12 ilustrează conceptul.

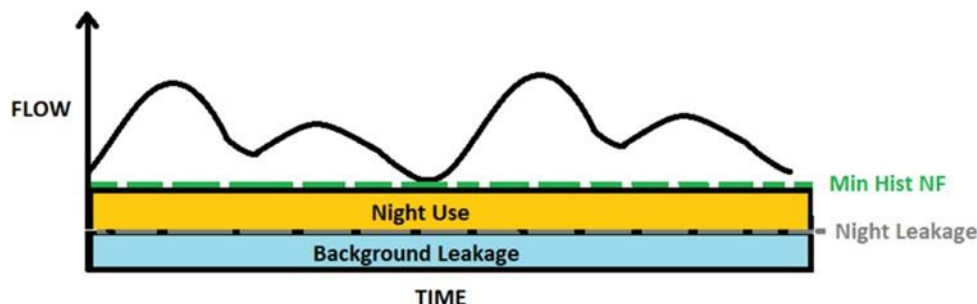


Figura 5-12 Scurgeri minime obținute.

Când se determină MAL din datele MNF, se scade utilizarea estimată pe timp de noapte din MNF pentru a izola componenta de scurgere. Aplică Night Day Factor, specific DMA-ului, pentru a converti rezultatul într-un volum real zilnic de pierderi.

Sunt necesare tehnici statistice pentru a elimina valorile aberante. Folosește percentile mici în loc de minime absolute și aplică praguri bazate pe abaterile standard față de medie. Înainte de a accepta orice valoare MAL candidată, verificați că nu existau anomalii la momentul înregistrării — inclusiv breșe de rețea, defecte ale debitmetrului și modificări ale limitei DMA. Un MNF scăzut cauzat de o defecțiune la contor nu este un MAL valid. Tabelul 5-11 prezintă valorile MAL pentru cele două exemple de DMA-uri.

Tabele 5-11 Exemplu de DMA MAL

Componentă	DMA 1	DMA 2
Scurgeri minime realizate (m ³ /oră)	8	5
Factorul de zi de noapte	22.5	23.5
Pierderi reale minime realizate (m ³ /zi)	182	106

MAL este un reper empiric — confirmă ceea ce DMA a realizat deja în cadrul practicii operaționale actuale a utilității, spre deosebire de UARL, care este o limită inferioară teoretică. Acest lucru face ca MAL să fie o bază de încredere pentru stabilirea nivelului de ieșire în operațiunile ALC (Secțiunea 5.2.3): dacă DMA a atins acest nivel înainte, îl poate atinge din nou.

Totuși, MAL are două limitări. În primul rând, MAL ar fi putut fi realizat într-o perioadă de efort ALC neobișnuit de intens, care nu poate fi susținut în mod obișnuit. În al doilea rând, MAL poate include încă scurgeri reziduale de explozie neraportate care nu au fost detectate la momentul respectiv. În ambele cazuri, MAL exagerează minimul poliței — este mai mare decât planșeul real de scurgere de fond. Atunci când se suspectează că MAL este peste minimul real al poliției, Scurgerile Minime Realizabile (Secțiunea 5.2.2.3) oferă o estimare mai fiabilă.

Diferența dintre pierderile reale curente și MAL indică reducerea pierderilor realizabilă prin revenirea DMA la cea mai bună performanță înregistrată anterior. Tabelul 5-12 arată această pauză pentru cele două exemple de DMA-uri. Aceasta nu este volumul recuperabil definit în Secțiunea 5.1.1 — este o estimare mai restrânsă care reflectă doar ceea ce a fost demonstrat istoric, nu ceea ce este fizic posibil.

Tabele 5-12 Scurgeri recuperabile folosind exemplul de DMA MAL

Componentă	DMA 1	DMA 2
Pierderi reale (m ³ /zi)	207	151
Pierderi reale minime realizate (m ³ /zi)	182	106
Scurgeri recuperabile (m³/zi)	25	45

DMA 2 are un decalaj bazat pe MAL mai mare decât DMA 1, ceea ce inversează clasamentul produs de diferența bazată pe UARL în Secțiunea 5.2.2.1. Cele două repere oferă răspunsuri diferite deoarece măsoară lucruri diferite: UARL măsoară distanța față de optimul teoretic, în timp ce MAL măsoară distanța față de performanța istorică demonstrată. Ambele sunt necesare pentru a încadra intervalul minim realist de politici.

5.2.2.3 Scurgeri minime realizabile

UARL și MAL încadrează politica minimă din direcții opuse. UARL stabilește limita inferioară teoretică — minimul realizabil în condiții optime pentru toate componentele. MAL stabilește limita superioară empirică — cel mai jos nivel atins de DMA în cadrul practicii operaționale actuale a companiei. Diferența dintre ele reflectă incertitudinea privind adevăratul minim de politică pentru DMA.

Scurgerile Minime Realizabile (MABL) rezolvă această incertitudine prin estimarea nivelului de scurgere de fond la starea reală a infrastructurii DMA. Este calculată folosind metoda scurgerii de fond a Secțiunii 5.1.2.3, aplicată la ICF-ul cunoscut sau estimat al DMA-ului, nu la ICF = 1.0. ICF-ul pentru DMA este determinat folosind metodele descrise în Secțiunea 5.1.2.4.

Acest calcul este repetat la trei niveluri ICF — Bun (ICF = 0,5), Medie (ICF = 1,0) și Slab (ICF = 1,5) — pentru a produce o gamă largă de estimări ale scurgerii de fond care reflectă incertitudinea în starea infrastructurii. Tabelul 5-13 arată calculul scurgerii de fond la ICF = 1.0 pentru cele două DMA exemplu. Tabelul 5-14 extinde acest lucru la toate cele trei niveluri de condiții.

Tabel 5-13 Exemplu de DMA pentru calculul scurgerii de fond

Componentă	DMA 1	DMA 2
Lungimea liniei principale (km)	10	29
Numărul de conexiuni	2,000	860
Presiunea medie de noapte în zonă	36.5	45.5
Exponentul de scurgere N1	1.5	1.5
Scurgeri de fond (m³/oră)	4.62	3.62
Factorul de zi de noapte	22.5	23.5
Pierderi de fundal (luni³/zi)	104	85

Tabelul 5-14 Pierderi de fundal pentru condiții bune, medii și proaste

Componentă	ICF	DMA 1	DMA 2
Pierderi de fundal în stare bună (m ³ /zi)	0.5	52	43
Pierderi de fond din cauza stării ave (m ³ /zi)	1.0	104	85
Pierderi de fundal în stare proastă (m ³ /zi)	1.5	156	128

Figurile 5-13 plasează aceste estimări ale scurgerii de fond alături de MAL și UARL pentru fiecare DMA. Bara MAL arată unde a fost deja DMA-ul. Intervalul de scurgeri de fundal arată unde se află podeaua fizică în diferite condiții de infrastructură. UARL este strâns aliniat cu estimarea scurgerii de fond în condiții bune, care este în concordanță cu deducerea UARL — coeficienții săi includ scurgerea de fond la $ICF \approx 0,5$ ca una dintre cele trei componente inevitabile (Secțiunea 5.1.2.3).

Două observații urmează din Figurile 5-13. Pentru DMA 1, pierderile reale curente depășesc toate cele trei repere de scurgere de fond și MAL, indicând un potențial substanțial de reducere a scurgerilor prin ALC. Pentru DMA 2, pierderile reale actuale se situează între estimările de stare medie și proastă, sugerând că starea infrastructurii contribuie semnificativ la scurgerile măsurate și că ALC singur poate să nu fie suficient pentru a atinge ținta de scurgere.

MAL nu este identic cu planșeul de scurgere de fundal. Este mai mare, deoarece în practică minimul politicii include scurgerile cauzate de eșecuri sub prag — scurgeri mici care sunt prezente, dar nedetectabile cu metodele actuale (Creasey et al., 2004). Calculul scurgerii de fond oferă limita inferioară a MAL. MAL oferă limita superioară. Proprietarul DMA stabilește minimul realist al politicii în acest interval pe baza cunoștințelor despre starea infrastructurii locale și capacitatea ALC.

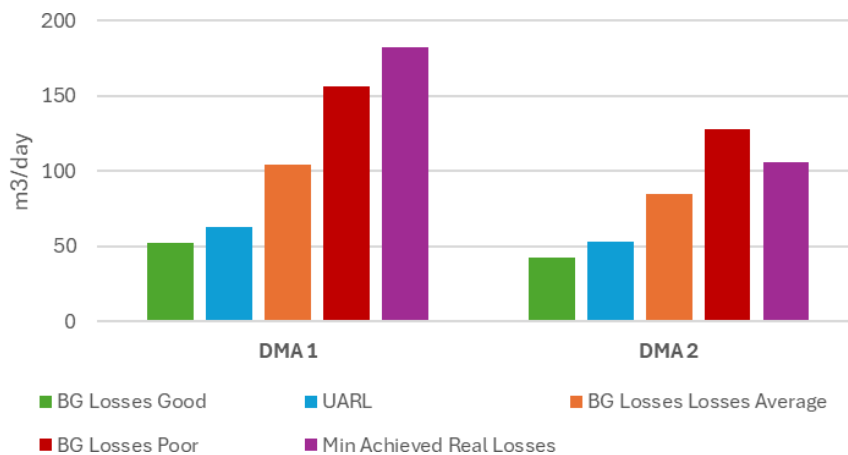


Figura 5-13 Scurgerile minime realizabile versus cele minime obținute.

5.2.2.4 Stabilirea politicii minime DMA

Următorul pas este evaluarea ICF-ului echivalent pentru Scurgerea Minimă Realizată, presupunând că totul este atribuit Scurgerii de Fond. Aceasta se calculează împărțind MAL la Scurgerile de Fond în condiții medii, așa cum este prezentat în formula de mai jos:

$$ICF \text{ echivalent} = MAL / \text{Scurgeri de fond (Condiția Ave)}$$

Tabelul 5-15 prezintă un exemplu de calcul al ICF-ului echivalent folosind această abordare pentru aceleași două DMA-uri. După cum se vede, DMA 1 are un ICF echivalent de 1,75, în timp ce DMA 2 este de 1,25.

Tabel 5-15 Exemplu de DMA ICF echivalent

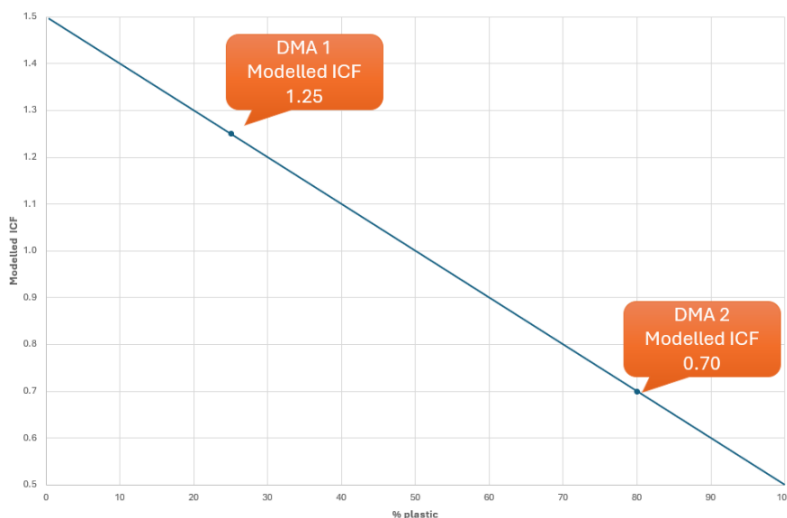
Componentă	DMA 1	DMA 2
Scurgeri minime realizate (m ³ /oră)	8.00	5.00
ICF de scurgere de fond = 1 (m ³ /oră)	4.62	3.62
ICF DMA echivalent	1.75	1.25

Urmând conceptul Factorului de Condiție a Infrastructurii (ICF) folosit în modelarea scurgerilor (Farley & Liemberger, 2004), starea fiecărui DMA poate fi aproximată pe baza proporției de țevi din plastic. Această abordare presupune că țevile din plastic sunt în mod inerent în stare "Bună". Modelarea se bazează pe presupunerile că un DMA cu țevi 100% din plastic primește un ICF de 0,5 (Bun). Un DMA cu țevi din plastic 0% primește un ICF de 1,5 (Sărac). Pentru a estima ICF pentru orice DMA dat, se folosește următoarea formulă ca aproximație (dar nu este considerată în general aplicabilă în contextul țărilor cu venituri mici și medii):

$$ICF \text{ modelat} = (1,5 - 0,5) \times (\% \text{ plastic})$$

Intervalul ICF modelat de la 0,5 la 1,5 a fost dezvoltat pentru rețele în care condiția infrastructurii se încadrează într-un interval tipic sistemelor bine întreținute. În contexte de țări în curs de dezvoltare sau în rețele cu infrastructură sever deteriorată, ICF-ul echivalent derivat din Scurgerile Minime Realizate poate depăși 1,5. În aceste cazuri, modelul țevii din plastic nu este aplicabil, iar ICF-ul ar trebui evaluat direct din Scurgerile Minime Realizate folosind formula ICF echivalentă, susținută de investigații de teren pentru a caracteriza starea reală a conductei.

Figura 5-14 ilustrează valorile ICF modelate pentru fiecare DMA bazate pe faptul că DMA 1 are 25% țevi din plastic și DMA 2 are 70% țevi din plastic. După cum se vede, DMA 1 este modelată ca fiind în stare comparativ mai slabă (1,25), în timp ce DMA 2 este modelată mai aproape de condiția "Bună" (0,80).

**Figura 5-14** Exemplu de DMA ICF modelat.

Odată ce ICF-ul a fost modelat pentru fiecare DMA, Scurgerile de Fond poate fi reevaluată și comparată cu Scurgeria Minimă Realizată. Rezultatele sunt rezumate în Tabelul 5-16.

Tabel 5-16 Exemplu modelat de DMA pentru scurgeri de fundal

Componentă	DMA 1	DMA 2
Scurgeri minime realizate (m ³ /oră)	8.00	5.00
ICF modelat de scurgeri de fundal (m ³ /oră)	5.77	2.53
Scurgeri recuperabile (m ³ /oră)	2.32	1.98

Așa cum este prezentat în Tabelul 5-16, există o diferență notabilă între Scurgerile Minime Realizate și Scurgerile de Fundal modelate. Dacă modelul este considerat fiabil și scurgerea de fundal modelată este considerată realizabilă, atunci golul reprezintă o scurgere potențial recuperabilă care nu a fost încă identificată. Este responsabilitatea proprietarului DMA să definească limite superioare și inferioare adecvate pentru ICF, pentru a determina ce este realizabil realist atunci când evaluează MAL pentru un DMA.

5.2.2.5 Rata naturală de creștere

Aplicarea unui model de pierdere a componentelor este utilă pentru a înțelege scurgerile DMA și pentru a le descompune în componentele sale. Totuși, există provocări cheie legate de obținerea valorilor precise de intrare pentru model. De exemplu, determinarea debitului de explozii, durata scurgerilor de la apariție la detectare și capturarea timpilor de reparație sau înregistrarea numărului și tipului scurgerilor poate fi dificilă. Îmbunătățirea calității acestor date de intrare este esențială pentru a înțelege mai bine pierderea de informații într-un DMA.

O modalitate de a analiza acest lucru este prin DMA Natural Rate of Rise (NRR) a scurgerii, care oferă perspective asupra tiparelor de scurgere și ajută la planificarea intervențiilor țintite. NRR este definită ca rata cu care apar scurgeri pe un sistem care trebuie detectate și reparate. Dacă aceste scurgeri nu ar fi identificate și reparate, scurgerile generale ar continua să crească în timp.

Figura 5-15 ilustrează NRR-ul pentru un DMA, arătând cum scurgerile neraportate continuă să crească în timp atunci când nu există intervenții active pentru detectarea și repararea acestor scurgeri "invizibile". În figură, se presupune că scurgerile raportate rămân constante, deoarece scurgerile care apar vizibil sunt raportate și reparate rapid. Rata la care scurgerile neraportate crește reprezintă NRR, care trebuie gestionată prin controlul activ al scurgerilor pentru a menține scurgerile generale într-o stare stabilă. Acest lucru este demonstrat în Figura 5-16, care arată același DMA în care scurgerile sunt gestionate prin intervenții active de scurgere pentru a contracara NRR.

Există două tehnici principale pentru estimarea NRR-ului unui DMA: Abordarea cu Frecvență de Explozie și Abordarea Nightline. Cea mai simplă aplicare a abordării frecvenței de explozie este de a înmulți numărul de explozii pe an într-un DMA cu un debit mediu de explozie:

$$\text{Frecvența exploziei NRR} = \text{Frecvența exploziei} \times \text{Debitul mediu al exploziilor}$$

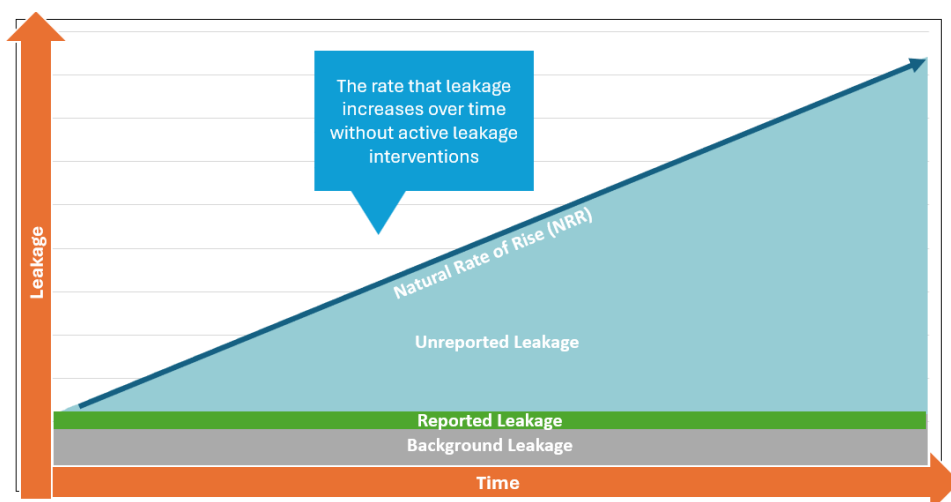


Figura 5-15 DMA Rata naturală de creștere.

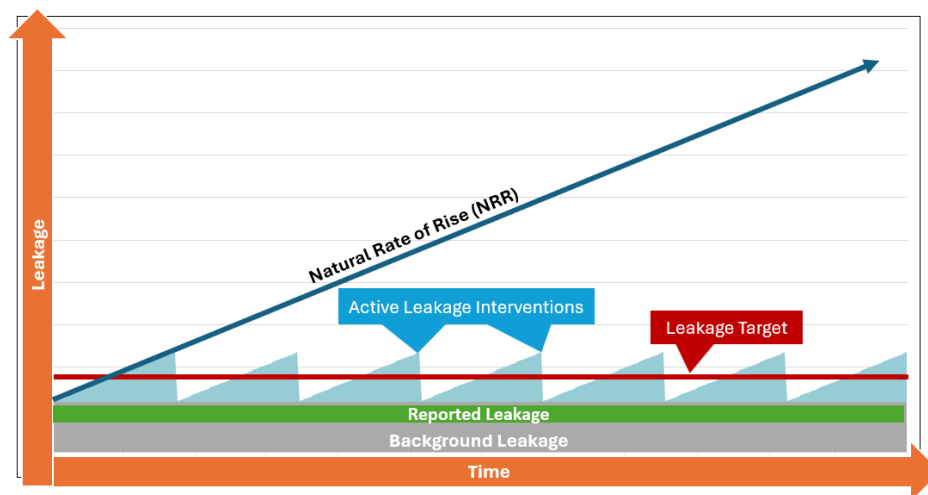


Figura 5-16 DMA Intervenție pentru scurgeri active.

În secțiunea anterioară, exemplul DMA avea 10 explozii pe an, cu un debit mediu de 10 m³/zi. Folosind abordarea simplă a frecvenței în rafale, DMA ar avea o NRR de 100 m³/zi pe an. Aceasta înseamnă că, în absența intervențiilor active de scurgere, scurgerile în DMA ar crește cu 100 m³/zi pe parcursul unui an. NRR poate fi, de asemenea, normalizată pentru a facilita comparația între DMA-uri, prin conversia în litri pe zi și împărțirea la numărul de conexiuni. De exemplu, dacă DMA-ul nostru de exemplu are 1.000 de conexiuni, NRR-ul său normalizat ar fi de 100 litri/zi per conexiune pe an. NRR poate fi exprimat și în alte unități, cum ar fi m³/oră pe an, litri/secundă pe an, sau normalizat prin lungimea conductei.

Abordarea frecvenței de explozie poate fi îmbunătățită atunci când se aplică debite mai reprezentative pentru rafale individuale. Acest lucru se poate face prin atribuirea debitelor nominale în funcție de tipul exploziei, sau prin utilizarea debitelor derivate la nivel DMA, ori pentru explozii individuale unde există suficiente date. În aceste cazuri, NRR-ul se calculează prin înmulțirea numărului de explozii de fiecare tip cu debitul corespunzător și apoi prin însumarea rezultatelor.

Gradientul NRR reprezintă rata zilnică la care se așteaptă ca scurgerile să crească, permițând o predicție mai precisă a creșterii scurgerilor și planificarea intervențiilor. În exemplul nostru, un NRR de 100 m³/zi pe an, împărțit la 365 de zile și convertit în litri, corespunde aproximativ 274 litri pe zi, reprezentând creșterea medie zilnică a scurgerii pentru DMA. Totuși, cea mai bună practică pentru a găsi adevăratul gradient al NRR este să se folosească abordarea nightline, ilustrată în Figura 5-17. În această figură, fiecare dată de reparație a unei explozii neraportate împarte istoria DMA MNF în perioade distincte. Datele MNF dintre două reparații consecutive neraportate ale exploziilor sunt denumite Perioade de Regresie. Pentru fiecare perioadă de regresie, o tendință liniară este ajustată graficului nightline. Folosind relația liniară $y = mx + c$, se calculează gradientul m al liniei de tendință și reprezintă NRR-ul pentru acea perioadă.

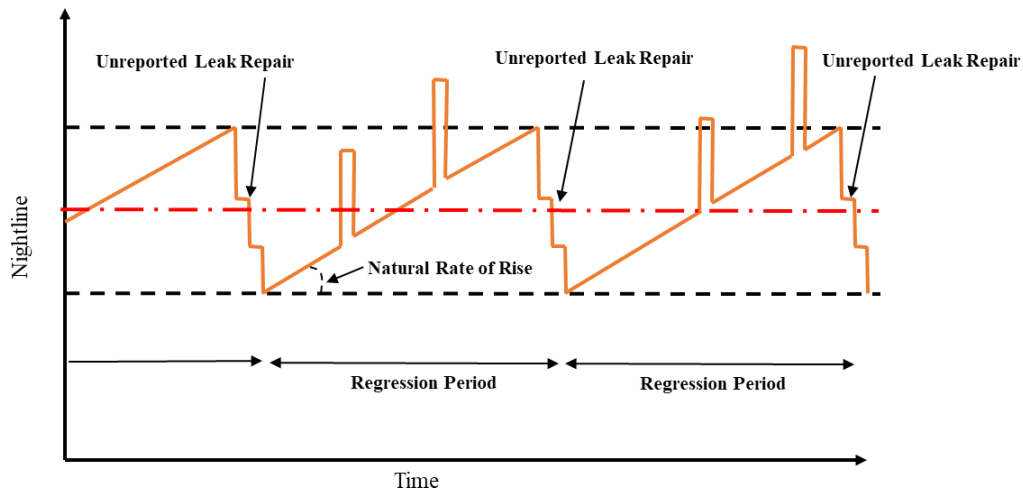


Figura 5-17 DMA Nightline NRR.

Pentru a determina NRR folosind metoda debitului minim de noapte, este necesar să se efectueze curățarea datelor și să se aplice un set de reguli de validare. Acestea includ eliminarea valorilor aberante MNF care pot distorsiona NRR-ul calculat și asigurarea că fiecare perioadă de regresie îndeplinește o cerință minimă de durată, de exemplu, cel puțin 20 de zile. Perioadele mai scurte pot duce la estimări NRR nesigure din cauza variabilității crescute a utilizării pe timp de noapte.

Tabel 5-17 Exemplu de calcul anual al DMA NRR

1-Year Analysis		Night Day Factor		22.5	No. of Connections		1500
Regression Period	Period Start Date	Period End Date	Total Days	Period Weighting	NRR Daily (m ³ /hr/day)	NRR Yearly (m ³ /day/yr)	Normalized NRR (l/day/conn/yr)
1	01/01/2025	22/01/2025	21	7%	0.008	66.5	44.3
2	07/02/2025	03/03/2025	24	8%	0.007	60.8	40.5
3	18/03/2025	25/05/2025	68	23%	0.003	20.5	13.7
4	09/06/2025	15/11/2025	159	53%	0.005	42.7	28.5
5	03/12/2025	31/12/2025	28	9%	0.014	115.8	77.2
Total/Average			300	100%	0.006	47.6	31.7

5.2.2.6 Aplicarea NRR pentru gestionarea scurgerilor

Există multe aplicații ale NRR în gestionarea scurgerilor de scurgeri a DMA-urilor; totuși, această secțiune oferă doar o scurtă prezentare generală. În primul rând, NRR este un indicator cheie de performanță care poate fi folosit pentru a compara DMA-urile și a susține luarea deciziilor informate. Înțelegerea NRR-ului unui DMA permite prezicerea mai bună a comportamentului de scurgere și planificarea fiecărui DMA. De exemplu, DMA-urile cu NRR-uri mai mari vor necesita, de obicei, intervenții active de scurgere mai frecvente pe parcursul anului, în timp ce DMA-urile cu NRR-uri mai mici vor necesita mai puține intervenții.

Tabelul 5-18 demonstrează cum NRR-ul unui DMA poate fi folosit pentru a estima numărul total de intervenții de detectare a scurgerilor necesare anual și, pe baza timpului necesar pentru efectuarea detectării scurgerilor, cerințele anuale de resurse asociate.

Tabelul 5-18 Utilizarea NRR pentru a determina cerințele de resurse

Componentă	Valoare		
Ținta anuală de pierderi reale (m ³ /zi)	100		
Nivelul de ieșire (m ³ /zi)	50		
Nivel de intrare (m ³ /zi)	150		
Pragul de intervenție (m ³ /zi)	100		
Efort de detectare pe intervenție (zile)	10		
NRR (m ³ /zi/an)	50	100	200
Numărul intervențiilor	0.5	1	2
Numărul de zile cu FTE pe an	5	10	20

Referindu-ne la Tabelul 5-18, pragul de intervenție pentru DMA trebuie calculat mai întâi ca diferența dintre nivelul de intrare și cel de ieșire. Numărul intervențiilor este apoi determinat prin împărțirea NRR la pragul intervenției, asigurându-se că ambele valori sunt exprimate în aceleași unități (de exemplu, m³/zi, m³/oră sau litri pe secundă). În final, înmulțirea numărului de intervenții cu efortul de detecție per intervenție oferă o estimare a zilelor echivalente cu normă întreagă (FTE) pe an necesare pentru menținerea scurgerii în stare staționară. Tabelul prezintă trei scenarii — NRR mare, mediu și scăzut — ilustrând impactul corespunzător asupra necesarului anual de resurse.

NRR poate fi folosit și pentru a calcula invers ratele de explozie specifice DMA și timpii de funcționare, permițând rafinarea modelului de pierdere a componentelor. Acest model rafinat poate fi apoi folosit pentru a simula diferite scenarii și a evalua impactul acestora asupra scurgerii. În plus, debitele de explozie derivate pot fi folosite pentru a estima NRR folosind abordarea de frecvență a exploziilor pentru DMA-uri unde metoda nightline nu poate fi aplicată. Figurile 5-18 prezintă un exemplu de model de pierdere a componentelor pentru o zonă care conține mai multe DMA-uri, ilustrând gama de analize care pot fi realizate folosind tehnici de analiză NRR și a scurgerii de ruptură.

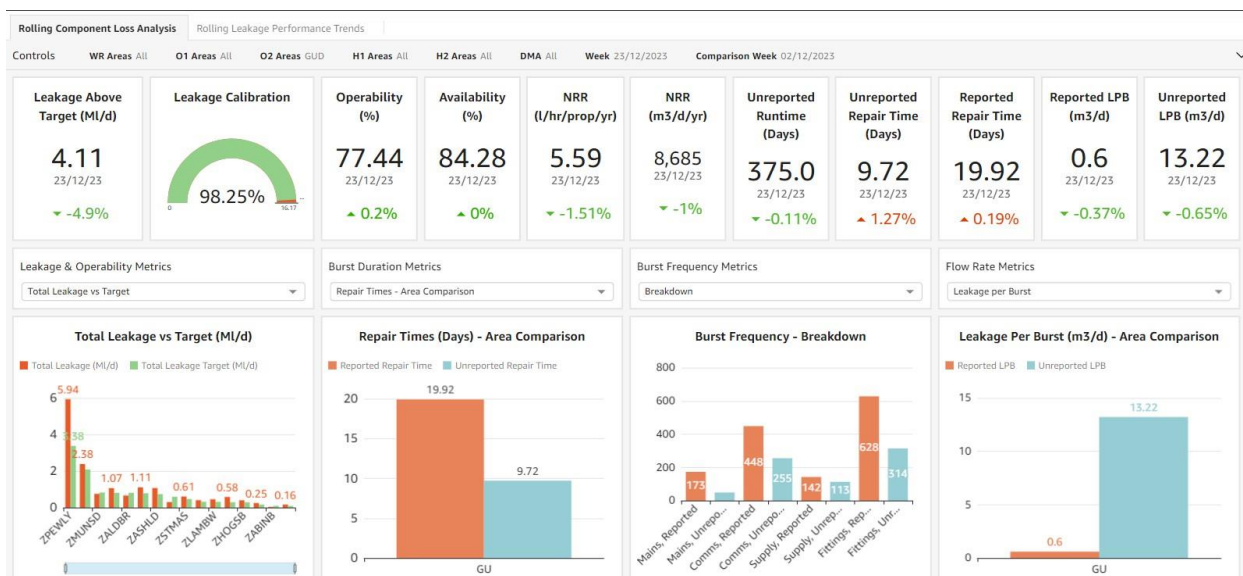


Figura 5-18 Model de pierdere a componentelor folosind exemplul NRR (sursa: Crowder Consulting, 2025).

5.2.3 STABILIREA ȚINTELOR DE SCURGERE

O inițiativă a Grupului de Specialiști în Pierderi de Apă a analizat întregul subiect al țințelor pentru pierderea de apă și recomandă ca:

- Țintele ar trebui stabilite ținând cont de toți factorii PESTLE (Politici, Economici, Sociali, Tehnic, legislativ și de mediu)
- Ținta ar trebui stabilită la nivelul unei zone de aprovizionare sau cerere cu apă
- Țintele zonale ar trebui apoi agregate până la o țintă la nivel de utilitate și până la DMA-urile din acea zonă

Această secțiune evidențiază importanța stabilirii țințelor de scurgere la nivel DMA. Aceasta explorează componentele DMA Real Losses și factorii cheie care influențează stabilirea țințelor. În plus, oferă abordări practice pentru stabilirea țințelor de scurgere și aplicarea lor eficientă.

5.2.3.1 Indicele de Scurgeri de Infrastructură

O metodă simplă de stabilire a țințelor de scurgere la nivelul DMA este să le bazezi pe valorile Indicelui de Scurgere de Infrastructură (ILI). Această abordare presupune că o țintă generală de Pierderi Reale a fost deja stabilită la nivel de companie sau zonal. De asemenea, necesită ca Pierderile Reale Anuale Inevitabile (UARL) să fi fost calculate pentru întreaga companie sau zonă, precum și pentru fiecare DMA individual din cadrul acesteia. Cu aceste intrări, ținta totală de Pierderi Reale poate fi tradusă într-o țintă ILI corespunzătoare aplicând următoarea formulă:

$$\text{Țintă ILI} = \text{Țintă de pierderi reale} / \text{Pierderi reale anuale inevitabile}$$

Tabelul 5-19 arată cum Ținta de Pierdere Reală a fost transformată într-o Țintă ILI pentru o zonă exemplu .

Tabelul 5-19 Exemplu de zonă țintă ILI

Componentă	Zonă
Țintă de pierderi reale (m ³ /zi)	1,778
Pierderi reale anuale inevitabile (m ³ /zi)	639
Ținta ILI	2.8

Ținta ILI pentru zonă poate fi apoi aplicată fiecărui DMA conținut în aceasta și folosită pentru a calcula ținte specifice de Pierderi Reale prin aplicarea următoarei formule:

$$\text{Ținta anuală de pierdere reală DMA} = \text{Ținta ILI} \times \text{DMA UARL}$$

Tabelele 5-20 ilustrează modul în care ILI-ul țintă pentru zonă a fost aplicat la DMA-uri individuale. Această abordare bazată pe ILI permite determinarea reducerii necesare a Pierderilor Reale pentru fiecare DMA, susținând atingerea obiectivelor generale de reducere a scurgerilor.

Tabele 5-20 Exemple de ținte DMA bazate pe abordarea bazată pe ILI

DMA	UARL (m ³ /zi)	Ținta pierderilor reale (m ³ /zi)	Pierderi reale anuale (m ³ /zi)	ILI	Reducerea scurgerii țintei (m ³ /zi)
DMA 1	63	169	207	3.3	38
DMA 2	53	142	151	2.9	9
DMA 3	53	143	150	2.8	7
DMA 4	38	102	195	5.2	93
DMA 5	61	163	175	2.9	12
DMA 6	106	285	345	3.3	60
DMA 7	83	224	225	2.7	1
DMA 8	68	183	330	4.8	147
DMA 9	45	122	117	2.6	-5
DMA 10	91	244	222	2.4	-22
Total	660	1778	2117	3.2	339

Totuși, o limitare a acestei metode este că aplică o țintă uniformă pe toate DMA-urile, fără a ține cont de nivelul actual al Pierderilor Reale în fiecare zonă. Ca urmare, unele DMA pot părea să aibă performanțe superioare dacă ILI existent este deja sub țintă, ceea ce ar putea descuraja managementul proactiv al scurgerilor în aceste zone.

5.2.3.2 Scurgeri în exces

Scurgerile excesive se referă la volumul de apă pierdut într-un DMA care poate fi atribuit exploziilor detectabile și reparabile. Pentru a calcula Scurgerile Excedentare, trebuie mai întâi să determinați atât Pierderile Reale, cât și Pierderile de Fond din DMA. Scurgerile în exces se calculează apoi ca diferența dintre pierderile reale și pierderile de fond, așa cum este prezentat în formula de mai jos:

Scurgeri excedentare = Pierderi reale - Pierderi de fond

Este important să se calculeze valorile de Excess Leakage pentru fiecare DMA și să se folosească acestea ca bază pentru stabilirea țintelor și prioritizare. Scurgerile în exces oferă o indicație mai precisă a volumului de scurgere care poate fi abordat prin detectare și reparare. Factorii cheie care influențează Scurgerile Excedente sunt nivelurile de Pierderi Reale și Pierderi de Fond, deoarece cu cât aceste valori sunt mai apropiate, cu atât există mai puține explozii detectabile și reparabile în DMA. Țintele de scurgere bazate pe Excesul de Scurgere sunt mai realiste, realizabile și potrivite condițiilor specifice ale fiecărui DMA.

Figura 5-19 ilustrează de ce Scurgerile în Exces ar trebui să ghideze și prioritizarea DMA. Un DMA poate avea un volum mare de scurgeri generale, dar dacă cea mai mare parte este pierdere de fond, oportunitatea de intervenție eficientă este limitată.

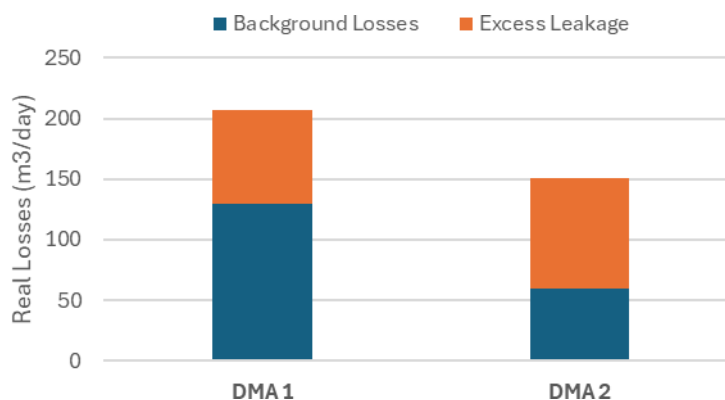


Figura 5-19 DMA Exemplu de scurgere în exces.

5.2.3.3 Nivelul economic al scurgerii

Nivelul economic de scurgere (ELL) este un concept cheie pentru utilitățile de apă, folosit pentru a determina cel mai rentabil nivel la care să se controleze scurgerile. ELL este larg recunoscut și documentat în comunitatea pierderii apei; ELL are mai multe interpretări și aplicații practice. Acest ghid se concentrează în mod specific pe aplicarea ELL la nivel DMA și conturează o abordare practică prin dezagregarea unei Ținte de Scurgere Economică în DMA-uri.

Această abordare tratează ELL ca pe o valoare deja stabilită la nivel de zonă. În acest context, ELL acționează ca o țintă de scurgere care trebuie dezagregată în DMA-uri individuale. Acest lucru asigură că țintele locale DMA sunt în concordanță cu strategia generală ELL, promovând alinierea întregului sistem.

Tabelul 5-21 oferă un exemplu simplu despre cum o țintă de scurgere la nivel de zonă poate fi decompusă. În acest exemplu, ținta de scurgere este împărțită în două componente de bază: Pierderi de fond și Scurgeri în exces. Împreună, aceste componente formează totalul ELL.

Tabele 5-21 Exemplu de țintă pentru o zonă

Componentă	Zonă
Pierderi de fundal (luni ³ /zi)	1,278
Țintă de scurgeri în exces (m ³ /zi)	500
Țintă totală de scurgeri (m³/zi)	1,778

Metoda de dezagregare se bazează pe stabilirea nivelului de Pierderi de Fond în cadrul fiecărui DMA, deoarece aceasta reprezintă de obicei o componentă importantă a oricărei ținte de scurgere. Principiul de bază este că suma Pierderilor de Fond DMA ar trebui să corespundă cu partea de Pierderi de Fond inclusă în ELL-ul general. Tabelele 5-22 ilustrează această abordare folosind același exemplu de Zone, acum împărțit în zece DMA-uri.

Tabel 5-22 Pierderi de fundal Exemplu ELL

DMA	Pierderi de fundal (luni ³ /zi)	
DMA 1	130	Zona
DMA 2	60	
DMA 3	106	
DMA 4	76	
DMA 5	121	
DMA 6	212	
DMA 7	166	
DMA 8	136	
DMA 9	91	
DMA 10	182	
Total	1278	1278

Odată ce pierderile de fond au fost contabilizate, ținta de scurgere excesivă a zonei trebuie dezagregată între DMA-urile conținute în aceasta. Pentru a distribui acest lucru echitabil între DMA-uri, pierderile reale anuale din fiecare DMA trebuie evaluate și pierderile de fond scăzute, astfel încât scurgerile în exces reale pentru fiecare DMA pot fi determinate. Această scurgere în exces ar trebui apoi ajustată proporțional folosind o metodă constantă pentru a asigura alinierea cu ținta de scurgere în exces în zonă. Rezultatul este un set de ținte de scurgere specifice DMA-ului care, combinate, corespund totalului ELL, cuprinzând atât elemente de fundal, cât și elemente de scurgere în exces.

Tabelul 5-23 demonstrează această abordare folosind același exemplu din Zona cu zece DMA. În acest caz, ținta de scurgere excedentară a fost stabilită la 60% din totalul efectiv al scurgerii excedentare pe DMA-uri. Acest raport a fost aplicat consecvent pentru a aloca proporțional ținta de scurgere excedentară între cele zece DMA-uri. După cum se poate observa, rezultatul este că ținta anuală de pierdere reală pentru DMA-urile individuale se aliază cu ELL pentru zonă.

Tabelul 5-23 Stabilirea țintelor anuale de pierdere reală pentru DMA-uri Exemplu

DMA	Pierderi pe fundal (m3/zi)	Pierderi reale anuale (m3/zi)	Scurgeri în exces (m3/zi)	Țintă pentru scurgeri în exces (m3/zi)	Țintă de pierderi reale (m3/zi)
DMA 1	130	207	77	46	176
DMA 2	60	151	92	55	114
DMA 3	106	150	44	26	132
DMA 4	76	195	119	71	147
DMA 5	121	175	54	32	153
DMA 6	212	345	133	79	291
DMA 7	166	225	59	35	201
DMA 8	136	330	194	116	252
DMA 9	91	117	26	16	106
DMA 10	182	222	40	24	206
Total	1278	2117	838	500	1778
Ținta de scurgere în exces în zonă			500	60%	

5.2.3.4 Niveluri de intrare și ieșire

Odată ce au fost stabilite ținte anuale de pierdere reală pentru DMA-uri individuale în conformitate cu ELL, trebuie stabilit un mecanism care să asigure că aceste ținte sunt atinse prin Controlul Activ al Scurgerilor (ALC). Această metodă se bazează pe setarea nivelurilor de intrare și ieșire pentru DMA-uri individuale.

Nivelul de Intrare reprezintă pragul care declanșează activitățile de detectare a scurgerilor, în timp ce Nivelul de Ieșire este punctul la care pierderea ar trebui redusă ca urmare a acestor activități. Prin menținerea scurgerii în intervalul definit de Nivelurile de Intrare și Ieșire, ținta de scurgere DMA poate fi atinsă constant, așa cum este ilustrat în Figura 5-20.

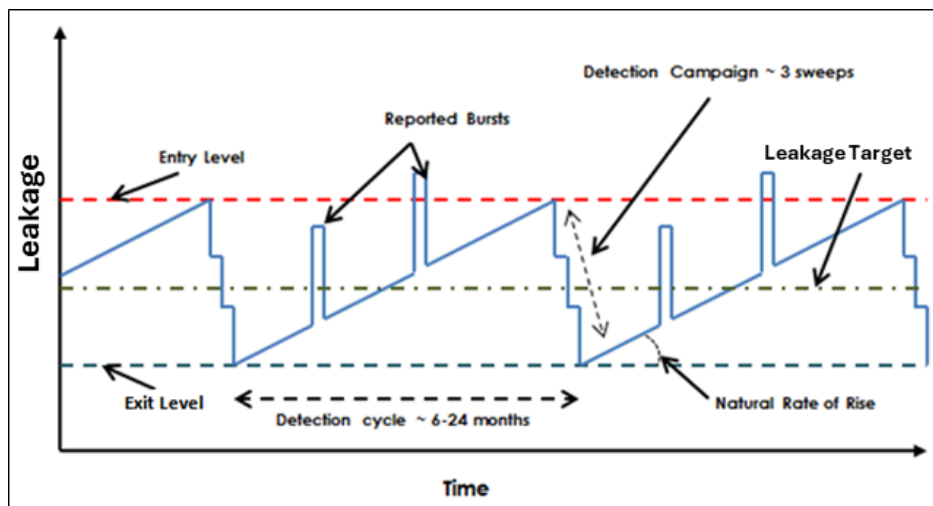


Figura 5-20 DMA Ilustrație a nivelurilor de intrare și ieșire.

În Figura 5-20, linia solidă reprezintă scurgerea "stilizată" (sau MNF) înregistrată pe DMA, arătând o creștere ag-raduală în timp pe măsură ce se acumulează scurgeri neraportate. Ocazional, apar scurgeri raportate care vor fi reparate. Când scurgerile (sau MNF) ajung la nivelul de intrare, se inițiază detectarea scurgerilor, iar linia de noapte este redusă la nivelul de ieșire, ceea ce poate necesita mai multe verificări. Ținta de scurgere DMA, reprezentată de linia punctată, este poziționată la jumătatea distanței dintre Nivelul de Intrare și ieșire. Figura 5-21 ilustrează un exemplu real de întreținere a unei scurgeri DMA în cadrul "șinelor" de la nivelul de intrare și ieșire pentru a atinge ținta de scurgere.

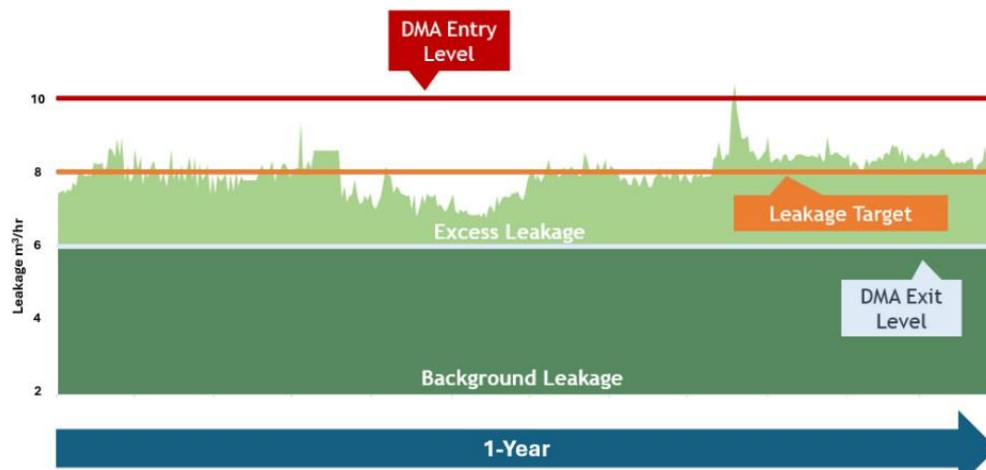


Figura 5-21 Ilustrație privind scurgerile DMA de urmărire.

Tabelul 5-24 oferă un exemplu pentru două DMA-uri, arătând Nivelul de Ieșire derivat, Ținta de Scurgere și Nivelul de Intrare.

Tabel 5-24 Exemplu de niveluri de intrare și ieșire DMA

Componentă	DMA 1	DMA 2
Pierderi de fundal (luni ³ /zi)	130	60
Ținta anuală de pierderi reale (m ³ /zi)	176	114
Factorul de zi de noapte	22.5	23.5
Nivelul de ieșire (m ³ /oră)	5.77	2.53
Țintă de scurgere (m ³ /oră)	7.80	4.86
Nivel de intrare (m ³ /oră)	9.84	7.19

Referindu-se la Tabelul 5-24, pentru a deriva Nivelul de Ieșire, Ținta de Scurgere și Nivelul de Intrare pentru un DMA se aplică următoarele:

- Nivelul de ieșire pentru un DMA ar trebui să corespundă fie Scurgerii Minime Realizate, fie Scurgerii Minime Realizabile, care reprezintă Scurgerea de Fond evaluată pentru acel DMA. Este echivalentă cu Pierderile de Fond pentru un DMA împărțite la Factorul de Zi Noapte.
- Ținta de scurgere este echivalentă cu ținta anuală de pierdere reală pentru DMA împărțită la factorul de zi și noapte.

- Nivelul de Intrare se calculează prin adăugarea diferenței dintre Nivelul de Ieșire și Ținta de Scurgere la Ținta de Scurgeri, asigurând că Ținta de Scurgere se află la jumătatea distanței dintre Nivelul de Intrare și Ieșire.

5.2.3.5 Indicele Volumului Economic

Metoda Indicelui de Volum Economic (EVI) se bazează pe efectuarea de intervenții active de control al scurgerilor într-un DMA la nivel economic, echilibrând costul pierderii apei cu costul detectării scurgerilor. O intervenție este declanșată atunci când costul unei campanii de detectare a scurgerilor este egal cu valoarea apei pierdute de la verificarea anterioară a detectării. Campania reduce scurgerile către nivelul de ieșire.

Metoda EVI folosește următorii parametri pentru DMA:

- Nivelul de ieșire
- Valoarea marginală a apei în acel DMA
- Costul de detectare a scurgerilor pentru a readuce scurgerile la nivelul de ieșire
- Rata naturală de creștere (pentru a prezice intervențiile)

Figura 5-22 ilustrează metoda VEI. După o analiză de detectare a scurgerilor care returnează scurgerile la nivelul de ieșire, scurgerea este lăsată să crească până când valoarea apei pierdute, calculată ca volumul pierdut (m^3) înmulțit cu costul marginal al apei ($£/m^3$), este egală cu costul campaniei de detectare a scurgerilor. Acest punct este denumit *Volumul de Intrare* în ilustrație și declanșează o intervenție.

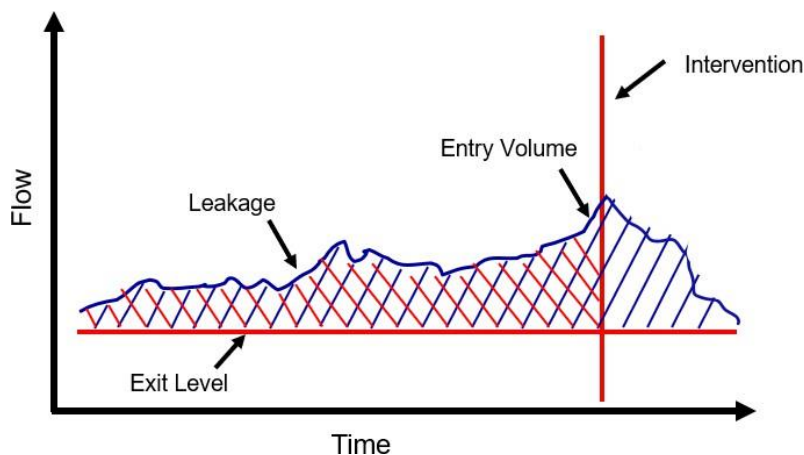


Figura 5-22 Ilustrația volumului de intrare economică DMA.

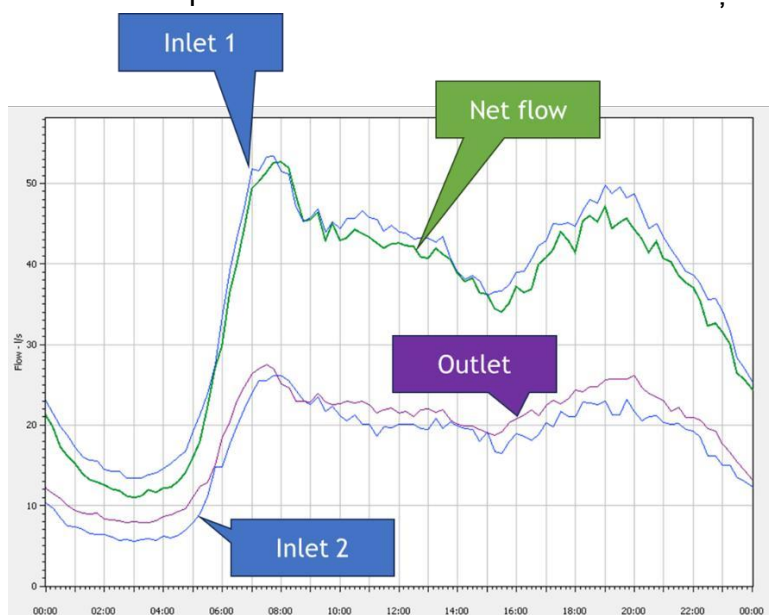
În unele cazuri, când scurgerile cresc lent pe o perioadă lungă, campania de detectare a scurgerilor poate fi derulată înainte ca scurgerea să ajungă la nivelul de intrare menționat în secțiunea anterioară. În alte cazuri, când scurgerile cresc rapid, campania de detectare poate fi realizată atunci când scurgerea depășește nivelul de intrare. După o intervenție, scurgerile sunt reduse înapoi la nivelul de ieșire, iar volumul acumulat de pierdere de apă este resetat, urmărirea fiind reluată până când volumul de intrare este din nou atins.

5.2.4 MONITORIZAREA NIVELURILOR DE SCURGERE

Această secțiune subliniază importanța monitorizării nivelurilor de scurgere la nivelul DMA. Explorează concepte cheie precum disponibilitatea și operabilitatea DMA-urilor, explicând impactul acestora asupra monitorizării scurgerilor. În plus, prezintă abordări practice pentru urmărirea MNF-urilor DMA și a scurgerilor, abordând în același timp potențialele provocări din proces.

5.2.4.1 Disponibilitatea DMA

Disponibilitatea DMA validează contoarele de intrare și ieșire care contribuie la calculul debitului net DMA. Când un DMA este clasificat ca disponibil, oferă încredere că datele nete de flux folosite pentru a deduce MNF și TDF sunt fiabile. Pentru ca un DMA să fie clasificat ca fiind disponibil într-o anumită zi, toate contoarele de intrare și ieșire trebuie să aibă date valabile de debit, iar debitul net trebuie să fie pozitiv, rezultând un MNF și TDF valide. Figura 5-23 ilustrează un exemplu de DMA cu doi contoare de admisie și un contor de ieșire.



Ilustrația privind disponibilitatea DMA din Figura 5-23.

În cazul Figurii 5-23, toate contoarele au date valabile de debit pentru întreaga zi, iar debitul net este pozitiv, ceea ce înseamnă că atât MNF-ul, cât și TDF-ul sunt valide, iar DMA este clasificat ca disponibil.

Pentru o analiză mai avansată, disponibilitatea DMA poate fi extinsă pentru a include date zilnice valide de presiune AZP, care sunt esențiale pentru derivarea zilnică atât a AZNP-ului, cât și a Factorului Noapte-Zi (NDF). Când un DMA este complet disponibil, acesta permite monitorizarea și țintirea nivelurilor de scurgere pe baza măsurătorilor reale de debit și presiune.

Cauzele frecvente ale indisponibilității unui DMA includ lipsa datelor de la contoarele de intrare și ieșire sau debitele care rămân la zero (flatline). Figura 5-24 arată un DMA care are un contor de admisie și trei prize, dar unul dintre contoarele de priză este în linie plată, ceea ce face ca DMA-ul să nu fie disponibil.

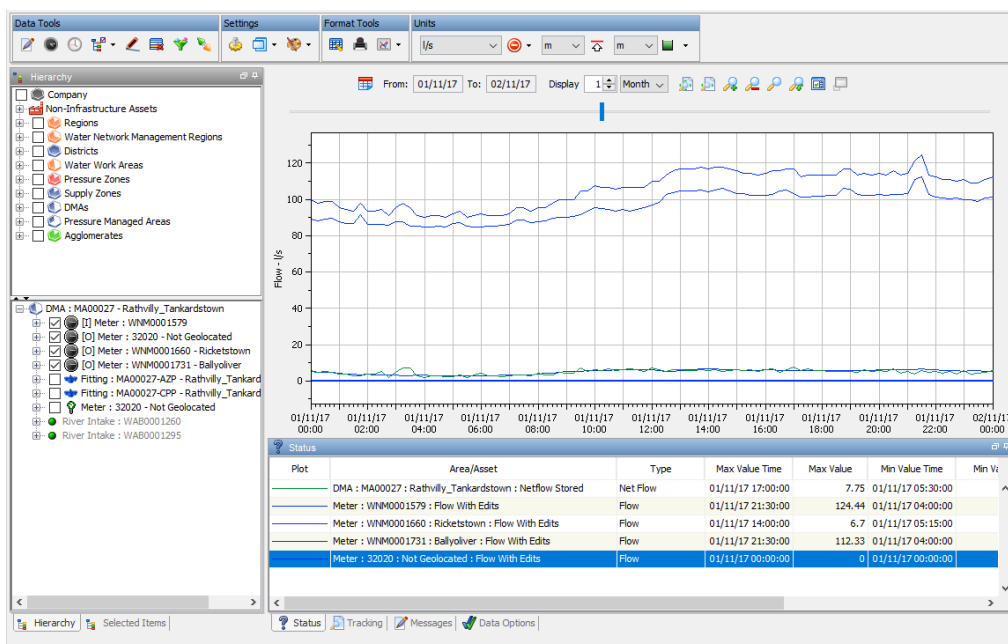


Figura 5-24 Exemplu de DMA indisponibil (sursa: Crowder Consulting).

În unele cazuri, datele pot fi invalidate manual, ceea ce duce la indisponibilitate. Un DMA poate fi, de asemenea, indisponibil dacă, în ciuda faptului că toate contoarele furnizează date, debitul net rezultat conține valori negative frecvente, ceea ce indică o problemă de date sau hidraulică. DMA-urile indisponibile ar trebui totuși să fie ținute regulat, cu scurgeri estimate pe baza datelor istorice.

5.2.4.2 Monitorizarea debitelor minime nocturne DMA

Este important să monitorizați zilnic MNF-urile DMA pentru a identifica rapid potențiale scurgeri noi. O creștere bruscă a MNF indică adesea că a apărut o scurgere în ziua precedentă. Este posibil să monitorizezi mai multe tipuri de MNF simultan, de exemplu Fix, Rolling și Actual, pentru a oferi cea mai bună indicație posibilă a unei noi erupții de scurgere.

De obicei, logger-urile de pe contoarele de intrare și ieșire DMA sunt configurate să raporteze date imediat după ora 06:00, permițând calcularea automată a MNF-urilor pentru toate DMA-urile și permițând analiștilor să genereze rapoarte și să analizeze tendințele care evidențiază creșteri bruște.

Figura 5-25 ilustrează o tendință MNF pe 30 de zile pentru un DMA, arătând două creșteri distincte ale MNF pe parcursul unei luni, ambele indicând posibile scăderi de scurgeri. Nu toate creșterile MNF indică o scurgere. Unele creșteri rezultă din utilizarea clienților, evenimente pe termen scurt în rețea sau schimbări sezoniere de temperatură.



Figura 5-25 Exemplu de tendință DMA MNF.

Procesul de monitorizare a MNF-urilor reduce necesitatea inspecției manuale a grafurilor de flux pentru fiecare DMA. Totuși, orice creștere a MNF ar trebui totuși analizată în raport cu datele de debit pentru a confirma că este validă. O limitare cheie în monitorizarea MNF-urilor este întârzierea în detecție: confirmarea unei rafale este de obicei disponibilă abia a doua zi dimineață, după ce datele MNF au fost procesate.

Figura 5-26 arată graficul debitului net pentru același DMA care a avut o creștere a MNF. Se pot observa două creșteri distincte ale debitului, confirmând potențiala ruptură a scurgerii în cadrul DMA.

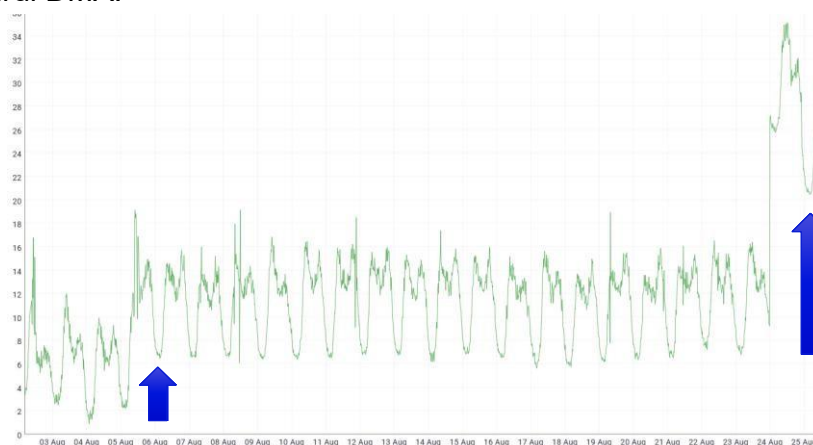


Figura 5-26 Exemplu de grafic DMA net flow.

5.2.4.3 Monitorizarea scurgerilor DMA

Bilanțul apei pe debit de noapte este folosit pentru a calcula scurgerile în DMA-uri unde există un MNF valid și cote fiabile de utilizare nocturnă. Cea mai bună practică este să se derive și să se monitorizeze scurgerile DMA folosind metoda echilibrului de flux nocturn zilnic și săptămânal. Mai multe detalii despre calculul bilanțului noapte-debit DMA și alte metode de estimare a scurgerii pot fi găsite în Secțiunea 4.2.

NDF se aplică pentru a converti scurgerile nocturne în scurgeri zilnice, așa cum este descris în Secțiunea 4.2.4.

Figura 5-27 ilustrează modul în care scurgerile variază săptămânal pe parcursul unui an. Creșterile pot apărea în perioadele reci, când exploziile sunt mai predispuse să apară, sau în perioadele calde dacă alocațiile pentru utilizare nocturnă nu sunt ajustate pentru a reflecta consumul sezonier. Graficul evidențiază și importanța de a lua în considerare toate componentele bilanțului de apă nocturn-flux pentru un DMA, în loc să se concentreze doar pe MNF. Unele dintre creșterile DMA MNF sunt de fapt rezultatul unei utilizări nocturne mai mari, care trebuie luate în calcul corect, mai ales pentru utilizatorii mari.

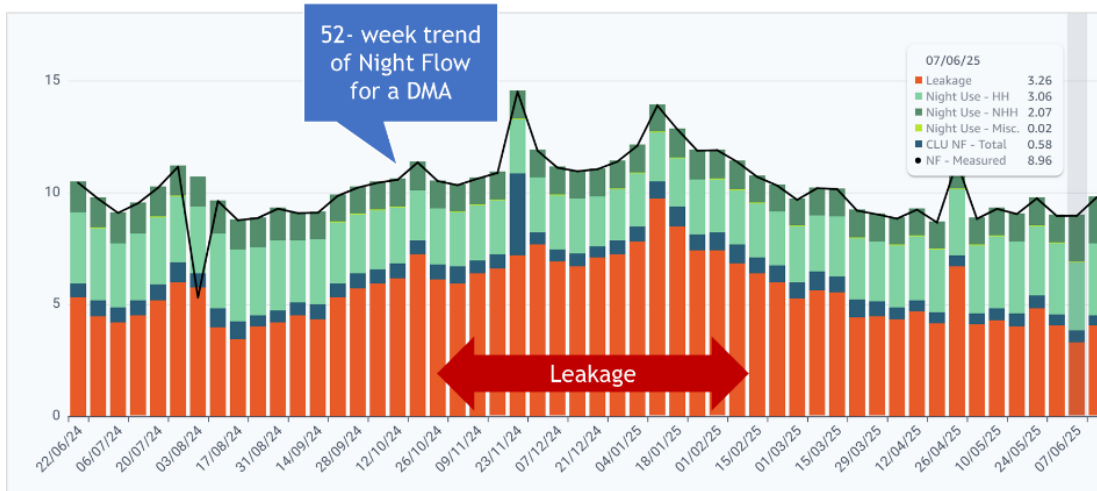


Figura 5-27 Exemplu de tendință DMA privind bilanțul apei pe debit nocturn (sursa: Crowder Consulting).

Figura 5-28 prezintă tendința zilnică de scurgere pentru același DMA după aplicarea ajustării NDF. Rezultatele arată clar o creștere a scurgerilor în perioada rece, în timp ce perioada caldă sugerează o posibilă supraestimare a scurgerilor.

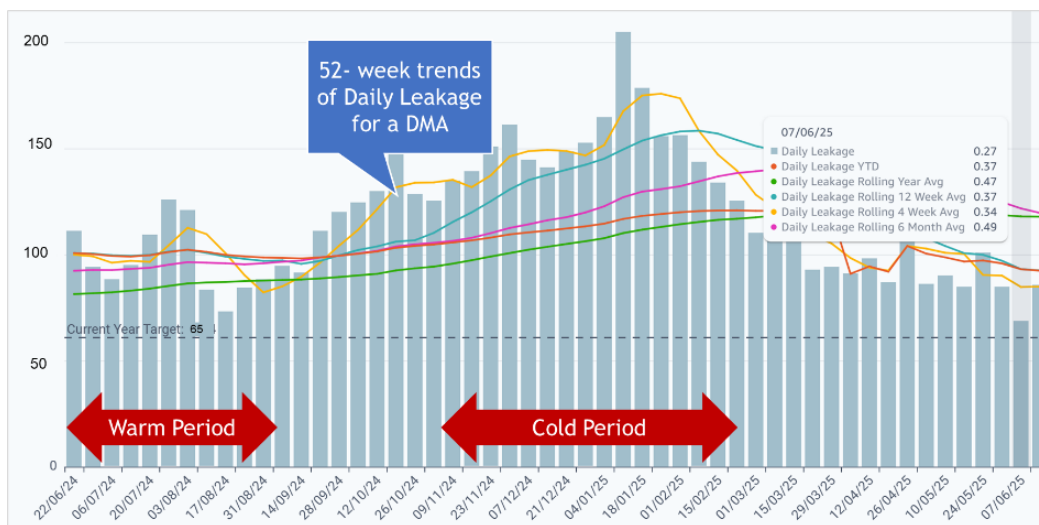


Figura 5-28 Exemplu de tendință zilnică a scurgerilor DMA (sursa: Crowder Consulting).

Pe lângă monitorizarea DMA-urilor individuale, scurgerile zilnice ar trebui agregate la zonele de nivel superior, cum ar fi zonele și utilitatea generală de apă. Monitorizarea la aceste niveluri mai largi oferă o vizibilitate și transparență sporite, ajutând la confirmarea

faptului că scurgerile generale de DMA se îndreaptă în direcția corectă și că țintele de scurgere sunt pe drumul cel bun pentru a fi atinse.

Figura 5-29 prezintă tendința zilnică a scurgerilor pe o perioadă de doi ani pentru DMA-urile agregate dintr-ozonă e. Rezultatele arată o ruptură semnificativă de scurgere peste DMA-uri, care a fost ulterior remediată pentru a readuce zona pe țintă.

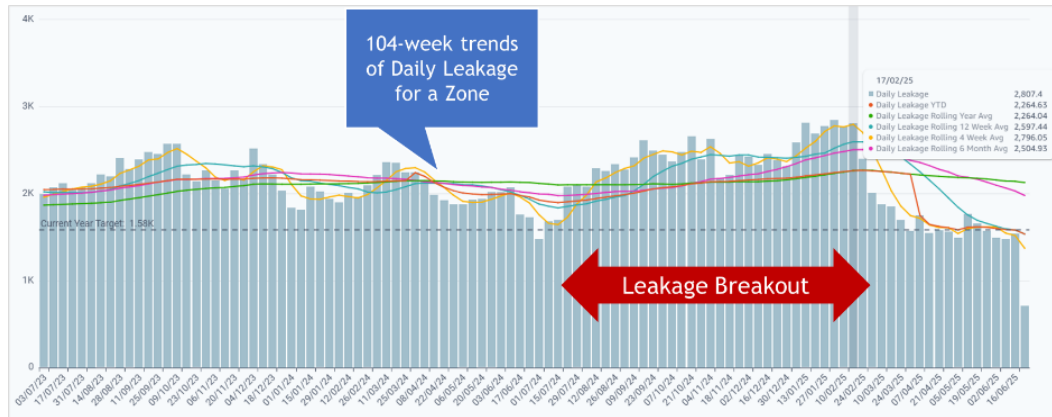


Figura 5-29 Exemplu de tendință zilnică a scurgerilor în zonă, agregat din DMA-uri (sursa: Crowder Consulting).

5.2.4.4 Operabilitatea DMA

Funcționalitatea DMA este evaluată folosind verificarea reziduală. Un DMA este clasificat ca operabil atunci când Reziduul Normalizat este în $\pm 20\%$ din TDF. DMA-urile nefuncționale nu ar trebui să fie țintite pentru detectarea scurgerilor până când problema datelor nu este rezolvată.

Figura 5-30 prezintă o comparație a rezultatelor celor două metode de bilanț al apei, debitul nocturn și debitul zilnic. Această comparație este considerată o practică bună deoarece ajută la identificarea problemelor de date într-un DMA. Atunci când este realizată cu date fiabile, această comparație poate oferi și o perspectivă asupra nivelurilor de pierderi reale și aparent într-un DMA.

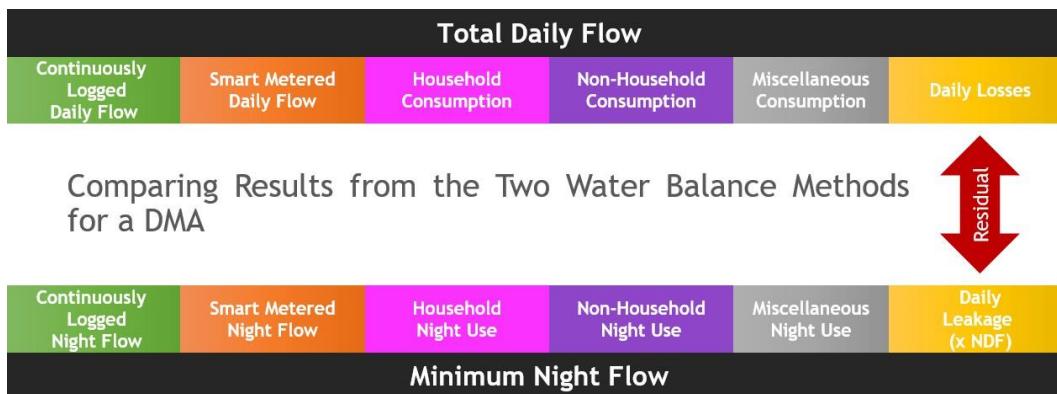


Figura 5-30 Evaluarea Operabilității DMA (sursa: Crowder Consulting).

De obicei, pentru ca un DMA să fie clasificat ca operabil, Reziduul ar trebui să fie în $\pm 20\%$ din Debitul Zilnic Total. Reziduul este definit ca diferența dintre pierderile zilnice derivate din TDF și scurgerile zilnice obținute din MNF, înmulțite cu factorul Noapte-Zi. Un Rezidual mai apropiat de zero indică un acord mai bun între cele două metode. Verificările de funcționare mai simple includ identificarea cazurilor în care Pierderile Zilnice sau Pierderea Zilnică sunt calculate ca valori negative, ceea ce ar indica faptul că DMA este nefuncțională.

5.2.4.5 Probleme tipice DMA

Când un DMA este operabil, oferă încredere că echipele vizează scurgerile reale în timpul activităților de detectare DMA. Un DMA nefuncțional indică o problemă de bază, care poate fi cauzată de date de bază incorecte sau de o problemă fizică în rețea care afectează debitul sau presiunea. Pentru a investiga un DMA nefuncțional, este important să se examineze toate componentele calculului scurgerii pentru a identifica ce ar putea fi incorect și pentru a determina acțiunile necesare pentru a rezolva aceste probleme.

Țintirea unui DMA nefuncțional pentru detectarea scurgerilor este inefficientă deoarece scurgerea calculată este probabil inexactă. Prin urmare, cea mai bună practică este să rezolvi mai întâi problemele de funcționalitate DMA, asigurând fiabilitatea datelor înainte de a începe activități de detectare a scurgerilor.

Figura 5-31 prezintă câteva probleme tipice care ar face ca un DMA să devină nefuncțional. Oricare dintre aceste probleme poate face calculul scurgerii inexact.



Figura 5-31 Probleme tipice de operabilitate DMA.

Câteva exemple de DMA-uri cu probleme de funcționalitate și date sunt oferite în Anexa F – Exemple practice de probleme de date DMA.

5.2.5 CRITERII PENTRU PRIORITIZAREA DMA

5.2.5.1 Utilizarea debitului minim de noapte

Managementul scurgerilor reactive de DMA implică monitorizarea zilnică a MNF-urilor pentru a detecta orice creștere semnificativă. Răspunzând rapid la o creștere a MNF, scurgerile pot fi localizate și reparate înainte ca acestea să escaladeze. Aceasta reduce timpii de funcționare a rafale și minimizează impactul scurgerii.

Ca bună practică, MNF-urile zilnice pentru fiecare DMA ar trebui comparate cu MNF-urile lor din ziua precedentă (scăzând orice flux nocturn înregistrat continuu). O diferență semnificativă între cele două ar putea indica o posibilă erupție. În plus, MNF-urile zilnice pentru DMA ar trebui comparate cu săptămâna precedentă, deoarece o spargere ar fi putut avea loc și totuși să fie în desfășurare, ceea ce o comparație zilnică s-ar putea să nu detecteze.

Această diferență, fie în comparație cu ziua precedentă sau cu săptămâna precedentă, este

cunoscută sub numele de Night Flow Change, iar monitorizarea sa zilnică este o practică fundamentală în scurgerile DMA

conducere. DMA-urile ar trebui clasificate după Schimbarea Fluxului de Noapte, permițând identificarea rapidă a celor cu cele mai semnificative erupții și, prin urmare, care necesită investigație.

Folosirea MNF-urilor pentru gestionarea scurgerilor este un punct de plecare util pentru prioritizarea DMA-urilor, dar are limitările ei. Cea mai bună practică este să se bazeze estimările scurgerilor DMA pe un bilanț de apă pe debit nocturn, care ar trebui apoi folosit pentru a prioritiza DMA-urile pentru controlul activ al scurgerilor (vezi Secțiunea 5.2.4.3).

Tabelul 5-25 prezintă un exemplu de 10 DMA-uri, unde MNF-ul pentru ziua curentă este comparat atât cu ziua precedentă, cât și cu săptămâna precedentă. Pentru fiecare DMA, diferența cea mai mare dintre cele două (evidențiată cu roșu) este considerată Schimbarea Fluxului de Noapte. Aceste valori sunt apoi ordonate în ordine descrescătoare pentru a evidenția DMA-urile cu cele mai mari Schimbări de Flux de Noapte.

Tabel 5-25 DMA Exemplu de monitorizare a schimbărilor debitului nocturn

DMA	Schimbarea fluxului i nocturn (m3/oră)	MNF Astăzi (m3/oră)	MNF Ziua Anterioară (m3/oră)	Săptămâna anterioară MNF (luni 3/oră)	Diferență în ziua anterioară (m3/oră)	Diferența săptămânii anterioare (m3/oră)
DMA 5	6.0	16.3	14.2	10.2	2.0	6.0
DMA 4	2.1	7.0	5.0	6.3	2.1	0.7
DMA 3	2.0	3.4	3.0	1.4	0.4	2.0
DMA 8	1.6	12.2	10.6	11.2	1.6	1.0
DMA 7	0.9	11.4	11.5	10.5	-0.1	0.9
DMA 10	0.8	4.9	4.1	4.3	0.8	0.5
DMA 1	0.5	11.5	11.5	11.0	0.0	0.5
DMA 6	0.5	4.1	3.8	3.6	0.3	0.5
DMA 9	0.4	4.4	4.1	4.0	0.4	0.4
DMA 2	-0.3	5.6	6.0	5.8	-0.5	-0.3

MNF-urile DMA pot fi, de asemenea, revizuite săptămânal în raport cu o țintă MNF pentru a identifica creșteri treptate în timp care trebuie recuperate. Clasificarea DMA-urilor după variația lor față de țintă ajută la prioritizarea activităților de detectare a scurgerilor, care sunt deosebit de valoroase în perioadele cu mai puține evenimente de explozie, când accentul se mută pe reducerea scurgerii DMA.

Figura 5-32 arată un exemplu de DMA, ilustrând modul în care scurgerile sunt gestionate prin monitorizarea MNF.

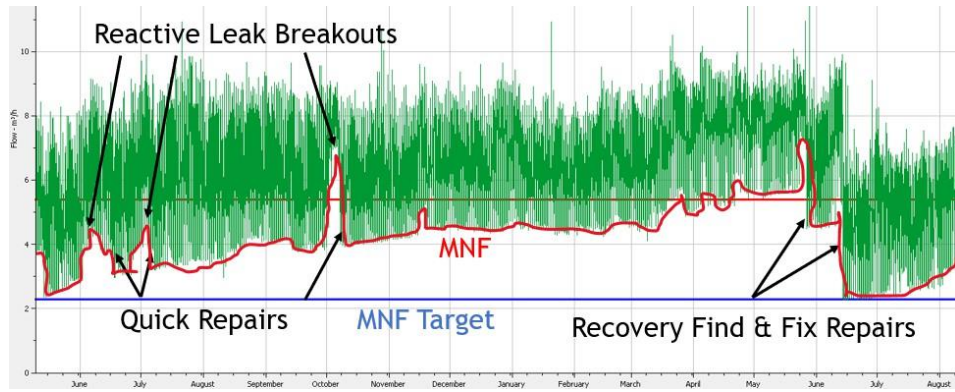


Figura 5-32 DMA Exemplu de management al scurgerilor de MNF.

5.2.5.2 Utilizarea scurgerii DMA

Procesul de prioritizare începe cu DMA MNF, din care se deduc continuu alocațiile de consum și utilizare nocturnă. Ar trebui aplicat un model robust de utilizare nocturnă, luând în considerare variația sezonieră și diferitele tipare de consum nocturn în funcție de tipul de utilizator. Pentru a ținti eficient scurgerile, DMA-urile trebuie să fie atât disponibile, cât și funcționale, ceea ce face esențial ca calculele de scurgere să fie exacte. Acest lucru, la rândul său, conduce la îmbunătățiri ale calității și fiabilității datelor.

Fiecare DMA ar trebui să aibă o țintă de scurgeri care să se alinieze cu țintele companiei și zonale. Prin gestionarea DMA-urilor pentru a-și atinge obiectivele individuale de scurgeri, pot fi îndeplinite și angajamente de performanță la nivel superior. Fiecare DMA ar trebui să aibă un nivel de ieșire, fie cel mai scăzut nivel de scurgere atins anterior, fie nivelul minim realizabil. În plus, fiecare DMA poate avea un nivel de intrare care declanșează momentul de a începe o campanie de detectare a scurgerilor.

The exit level represents background leakage in the DMA, and any leakage above this level is considered excess leakage, which can be targeted through active detection and find-and-fix activities.

Figure 5-33 shows a chart illustrating how leakage is calculated from the MNF. In this example, the red bar represents leakage, which is the largest component of the night flow.

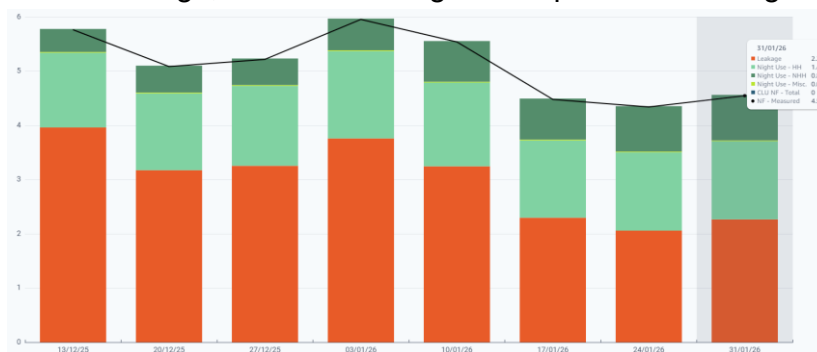


Figure 5-33 DMA Night Flow Leakage Example (source: Crowder Consulting).

Figure 5-34 shows a chart for the same DMA, illustrating how calculated leakage can be tracked against the leakage target, as well as the entry and exit levels.

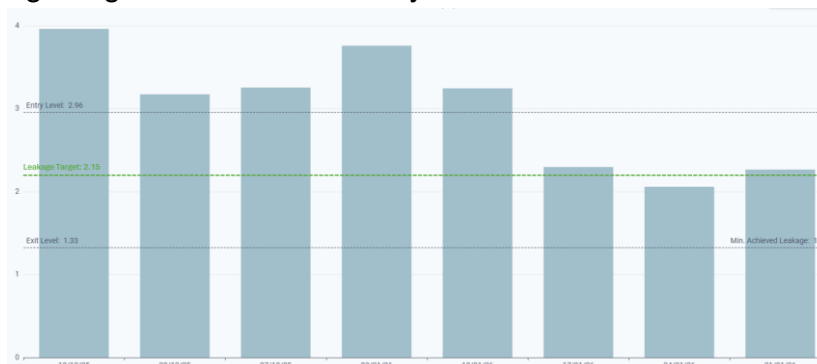


Figure 5-34 DMA Leakage Target, Entry & Exit Level Example (source: Crowder Consulting).

Figure 5-35 shows a chart for the same DMA, illustrating how leakage can be separated into background and excess components. In this example, the red bar represents excess leakage, which is the largest component of total leakage in the DMA.

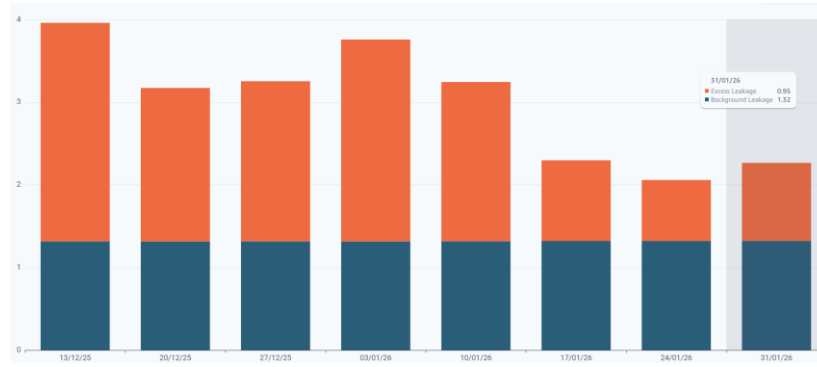


Figure 5-35 DMA Excess Leakage Example (source: Crowder Consulting).

DMA prioritization should be based on excess leakage, assessed either by its absolute volume or by normalizing the excess to drive efficiency and ensure effective allocation of resources. Table 5-26 provides an example of ten DMAs prioritized by excess leakage. If ranked by volume alone, DMA 1 would appear at the top of the list. However, DMA 3, although showing a lower overall volume, appears proportionally leakier, ranking first when assessed by excess leakage per connection and per length of main. These considerations highlight the importance of how excess leakage is measured and prioritized, and they provide a useful basis for discussion.

Table 5-26 DMAs Prioritized by Excess Leakage

DMA	Leakage (m³/hr)	Exit Level (m³/hr)	Excess Leakage (m³/hr)	Excess Leakage Per Con (litres/con/hr)	Excess Leakage Per Meter (litres/meter/hr)	No. of Conns	Length of Mains (km)
DMA 1	15.9	3.6	12.3	24.1	1.6	509	7.5
DMA 2	14.2	7.2	7	6.2	0.5	1,126	14.3
DMA 3	7	0.7	6.3	26.6	1.9	235	3.3
DMA 4	13.4	7.2	6.2	4.4	0.7	1,408	9.5
DMA 5	7.1	1.5	5.5	9.8	1	565	5.5
DMA 6	6.6	2.7	3.9	8.5	0.4	463	9.2
DMA 7	5.5	1.8	3.7	22.3	0.4	168	9.1
DMA 8	3.5	0.7	2.8	14.5	0.7	193	4.1
DMA 9	4.2	1.4	2.8	13.7	0.5	202	6.1
DMA 10	4.8	2.3	2.5	5.2	0.5	475	5.3

Not all DMAs behave in the same way, and prioritization is only the first step in effective targeting. Some DMAs may appear on the list frequently due to recurring bursts that must be managed back down to the exit level. Others may remain near the top for longer periods, with leaks that are difficult to locate and requiring greater effort to reduce. A key outcome of effective leakage management is lowering the DMA exit level to a value below what was previously achieved. This pushes the boundaries of leakage management and demonstrates the real value of operating with DMAs.

5.2.6 KPIS FOR LEAKAGE CONTROL ACTIVITIES

5.2.6.1 Non-Revenue Water

Non-Revenue Water (NRW) is often expressed as a percentage of the Total Daily Flow (TDF). However, this metric can be misleading because several factors can lower the NRW percentage without reducing actual water losses. For example, in DMAs with high consumption per connection, such as highly urbanized regions with high-rise buildings, each connection uses significantly more water than connections in DMAs with low-rise buildings. Expressing NRW as a percentage can therefore indicate lower water losses where none exist.

Table 5-27 presents ten example DMAs ranked by their NRW percentage. These same DMAs will be used to assess other leakage performance indicators and their effect on rankings.

Table 5-27 DMAs Ranked by NRW%

DMA	Rank	TDF (m ³ /day)	Consumption (m ³ /day)	NRW (m ³ /day)	NRW %
DMA 1	1	264	88	176	67%
DMA 2	2	552	193	359	65%
DMA 3	3	240	88	152	63%
DMA 4	4	216	88	128	59%
DMA 5	5	360	150	210	58%
DMA 6	6	336	146	190	57%
DMA 7	7	336	158	178	53%
DMA 8	8	720	350	370	51%
DMA 9	9	312	155	157	50%
DMA 10	10	1080	638	442	41%

5.2.6.2 Infrastructure Leakage Index

A water balance is conducted for each DMA to determine the average level of Real Losses. To calculate the DMA-specific Infrastructure Leakage Index (ILI), the Real Losses are divided by the Unavoidable Annual Real Losses (UARL) within the DMA. ILI is a simple and effective performance indicator that can be applied to DMAs once Real Losses are quantified. It provides a more accurate representation of leakage performance than percentage-based metrics and allows for direct comparisons between different DMAs or areas. A full description of ILI is provided in Section 5.2.3.1. When applying UARL to smaller DMAs, a system correction factor should be used.

Table 5-28 presents the same ten DMAs, with Real Losses derived and ranked according to their ILI. As shown, DMA 1 has the worst performance and DMA 7 has the best. DMA 10, which recorded the lowest NRW percentage, has the third-worst ILI.

Table 5-28 Example DMAs Ranked by ILI

DMA	Rank	Real Losses (m ³ /day)	UARL (m ³ /day)	ILI
DMA 1	1	164	18	9.0
DMA 2	2	352	53	6.5
DMA 3	7	130	29	4.5
DMA 4	5	122	21	5.8
DMA 5	4	174	31	5.9
DMA 6	6	98	20	5.0
DMA 7	10	110	43	2.6
DMA 8	8	323	74	4.4
DMA 9	9	152	35	4.4
DMA 10	3	365	61	6.4

5.2.6.3 Normalized DMA Leakage Level

The recommended way to express Real Losses in a DMA is to use a normalized value. This allows direct comparison across DMAs without the influence of variations in consumption. These normalized values include:

- ◆ Real Losses per connection (liters/connection/day or hour)
- ◆ Real Losses per length of main (liters/meter of main/day or hour)

Normalized DMA leakage levels provide a simple and effective performance indicator that can be applied once Real Losses are quantified.

Table 5-29 presents the same ten DMAs ranked according to Real Losses per connection and Real Losses per length of main. When ranking by Real Losses per connection, DMA 3 is the worst performing DMA, while DMA 8 ranks the best. When ranking by Real Losses per length of mains, DMA 1 is the worst performing DMA, while DMA 3 ranks the best.

Table 5-29 DMAs Ranked by Real Losses Per Connection & Per Meter

DMA	Real Losses (m ³ /day)	No. of Conns	Real Losses Per Con (ltrs/con/day)	Rank 1	Length of Main (km)	Real Losses Per Meter (ltrs/meter/day)	Rank 2
DMA 1	164	235	698	2	3.3	49	1
DMA 2	352	509	692	3	7.5	47	2
DMA 3	130	168	775	1	9.1	14	10
DMA 4	122	193	632	4	4.1	30	5
DMA 5	174	565	308	8	5.5	31	4
DMA 6	98	202	486	5	6.1	16	9
DMA 7	110	475	231	9	5.3	21	7
DMA 8	323	1,408	230	10	9.5	34	3
DMA 9	152	463	328	6	9.2	17	8
DMA 10	365	1,126	324	7	14.3	26	6

As the examples demonstrate, results can vary depending on the characteristics of each DMA. For example, in urbanized DMAs where connections are denser, normalizing Real Losses per connection is more appropriate. In rural DMAs with fewer connections and longer mains, the per-kilometer method provides a more accurate representation. Therefore, the best practice is to apply both methods to enable the most reliable comparisons.

5.2.6.4 Combined Real Losses Indicator

The choice between normalizing Real Losses per connection or per length of main can vary by context. The Combined Real Loss Index (CRLI) addresses this by providing a density-independent leakage performance indicator. It combines two commonly used metrics — liters per connection per day and liters per meter of main per day — into a single index using their geometric mean. This allows DMAs with differing characteristics to be compared on a consistent basis. The recommended way to express Real Losses in a DMA using the CRLI is Real Losses per size of distribution network. CRLI is calculated using the following formula:

$$CRLI = (\text{Real Losses per connection} \times \text{Real Losses per length of main})^{1/2}$$

Table 5-30 presents the same ten DMAs ranked according to CRLI. As shown, DMA 1 is the poorest performer, while DMA 7 ranks the best. Unlike traditional indicators, CRLI enables fairer comparisons between urban and rural systems by reducing sensitivity to network density. It is therefore the most reliable measure of leakage performance at the DMA level. CRLI is simple to calculate, technically robust, and applicable at multiple scales — from individual DMAs and zones to regional and national levels.

Table 5-30 Example DMAs Ranked by CRLI

DMA	Rank	Real Losses (m ³ /day)	Real Losses Per Conn (litres/conn/day)	Real Losses Per Meter (litres/meter/day)	CRLI (litres/day/size of network)
DMA 1	1	164	698	49	185
DMA 2	2	352	692	47	180
DMA 3	4	130	775	14	105
DMA 4	3	122	632	30	137
DMA 5	5	174	308	31	98
DMA 6	8	98	486	16	88
DMA 7	10	110	231	21	69
DMA 8	7	323	230	34	89
DMA 9	9	152	328	17	74
DMA 10	6	365	324	26	91

REFERENCES

Lambert A. O., Brown T. G., Takizawa M. and Weimer D. (2000). A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems.

Lambert A. O., Trow S. and Myers S. (1998). *Managing Leakage: Economic and Technical Issues*. Financial Times, London, UK. ISBN 84083 011 5.

Morrison J., Tooms S., Rogers D. and others (2024). *Guidance Notes for DMA Management*. IWA Water Loss Specialist Group.

Parker J. (2011). *Managing Leakage 2011, Report Ref: 10/WM/08/42, Leakage Estimation & Analysis (Report 4)*. UK Water Industry Research (UKWIR), London, UK.

Pearson D. and Donnelly A. (2019). *Standard Definitions for Water Losses*. IWA Publishing, London, UK.

WRC (1994). *UK Water Industry: Managing Leakage, Interpreting Measured Night Flows (Report E)*. Water Research Centre, Swindon, UK.

Wyatt A. (2024). Overview of the Combined Real Loss Index (CRLI).

Leakssuite Library (n.d.). *Leaks Suite Library*. <https://www.leakssuitelibrary.com> (accessed 18 February 2026).



6 DMA DATA MANAGEMENT SYSTEMS

A. Bojko¹, T. Crowder², G. Féry³, C. Henriquez⁴, F. van der Hulst⁵, T. Kressin⁶

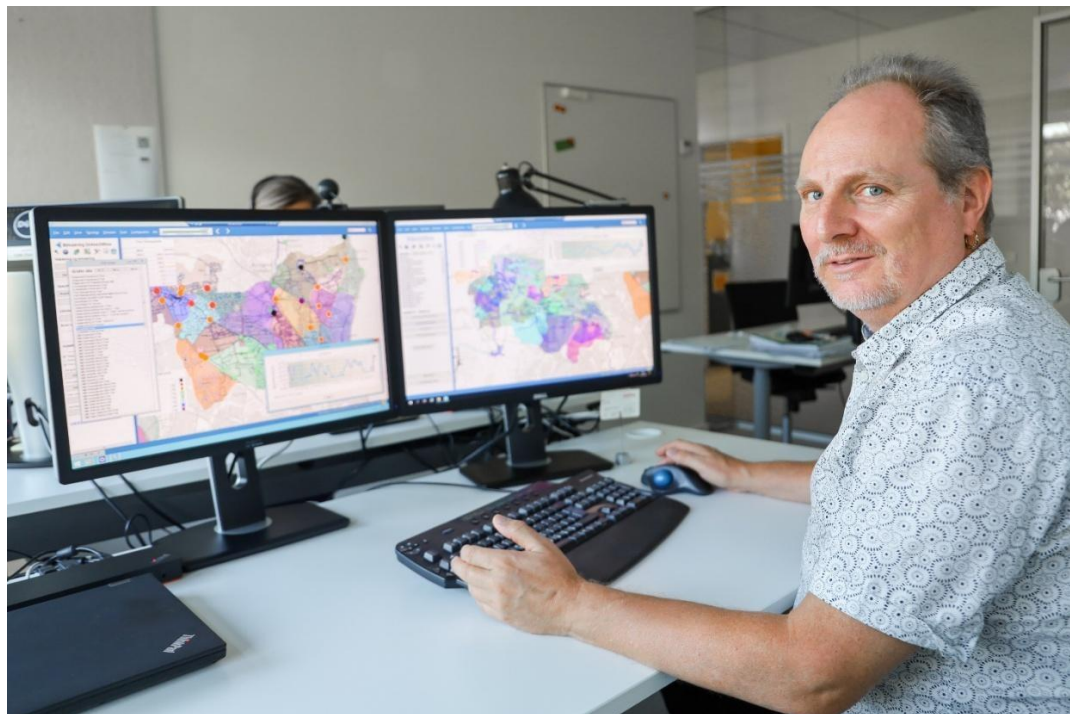
¹Independent, French Guyana; ²Crowder Consulting, UK; ³Independent, Switzerland; ⁴Aguas Antofagasta, Chile; ⁵HULO, Netherlands; ⁶Gutermann, Germany

ABSTRACT

Effective data management is the foundation of modern water Utility operations. Without a robust Data Management System, Utilities risk inefficiencies, higher leakage, and missed opportunities for cost savings. This chapter shares important principles which you can build on to help you to select, implement, and optimize data management systems that deliver measurable improvements in performance, sustainability, and customer service.

This chapter offers practical guidance on DMS for DMAs and their role in reducing Non-Revenue Water and improving operational efficiency. It explains how Utilities can turn raw data into actionable insights through integrated platforms and advanced analytics.

Additionally, Appendix G describes the real life example of the Utility in Denmark that has implemented the fully digitized, data-driven approach to diurnal water balance calculation and the continuous monitoring of water loss fluctuations and night flows within District Metered Areas (DMAs) and full coverage of smart meters.



NIRAS analyzing and comparing DMA Data in Denmark

6.1 DMS ARCHITECTURE AND FUNCTIONAL COMPONENTS

The minimum level of data required to perform a basic assessment of DMA performance may consist only of monthly inlet bulk flow meter readings taken manually, and monthly billed consumption volumes from registered customers. While such limited datasets allow for a coarse water balance and very high-level NRW estimation, they provide insufficient resolution for meaningful operational analysis.

In practice, Utilities increasingly collect a broader range of data streams, typically transmitted from the physical network to the telemetry or SCADA system on a daily—or even almost continuous—basis. These include, but are not limited to:

- ◆ DMA inlet and outlet flow
- ◆ Pressures at DMA boundaries (inlets/outlets)
- ◆ Internal DMA pressure (including average and critical points)
- ◆ Valve status, settings, and operational changes
- ◆ Customer consumption data (monthly, daily, or smart-meter intervals)
- ◆ Leak detection and repair
- ◆ Network construction or maintenance activities
- ◆ Customer complaints related to service level, supply, or pressure
- ◆ Water quality measurements.

As most water Utilities operate multiple DMAs, the overall volume of data grows rapidly, becoming difficult—if not impossible—to manage and analyze manually. This is where DMA DMS becomes essential.

Adding to the complexity, a DMA DMS often needs to interface with multiple corporate systems, such as the Customer Information System (CIS), Work Order/CMMS system, GIS, Asset Management System, and financial or billing systems. Effective data integration across these platforms enables consistent analysis, supports operational decision-making, and creates a single, authoritative view of network performance.



Figure 6-1 Example of a dashboard of DMA Data Management System (source: Crowder Consulting).

There are several components involved in managing DMA-related data:

- ◆ Data Storage
- ◆ Data Processing
- ◆ Data Analysis
- ◆ Decision Making
- ◆ Actions
- ◆ Feedback and Improvement

These components—and their relevance for NRW reduction and leakage management—are explored in detail in the following sections of this chapter, a typical architecture of a DMA Data Management System includes the following core layers (Figure 6-2):

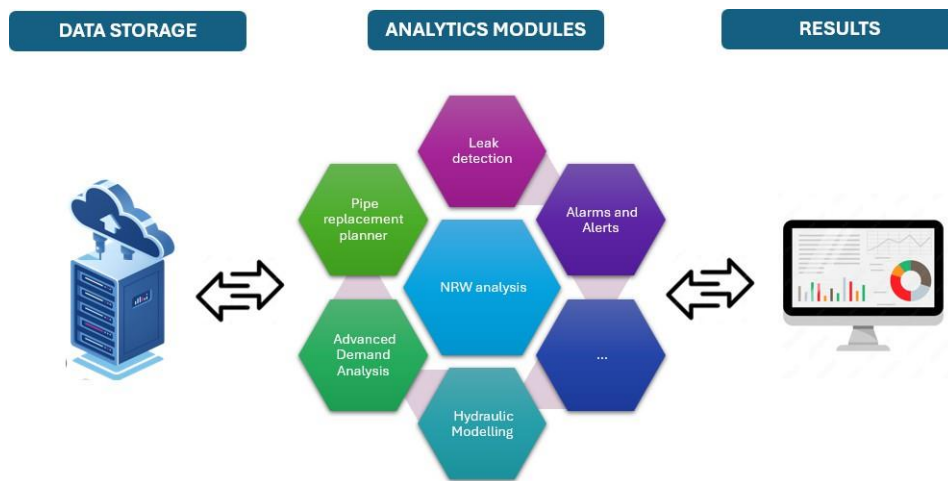


Figure 6-2 Typical components of DMA Data Management Systems.

With modern technologies and continuous innovation, many of the processes described above can be highly automated and executed at high speed. However, each Utility must carefully decide what level of technology and automation is appropriate for its current context. In practical terms, this means assessing whether the organization has the “infrastructure” (systems, data, staff skills, procedures) to operate a highly advanced, fully automated Data Management System, or whether a simpler, more manual approach (for example, well-structured Excel spreadsheets) is more appropriate given the Utility's current data quality and organizational capacity.

There are many turnkey analytical platforms on the market that claim to support all stages of DMA data management, but they usually involve significant costs, integration requirements, and complexity. Each Utility should therefore define its own functional needs and, most importantly, its level of readiness in terms of budget, data quality, IT environment, and human resources. Main criteria in DMS selection gives practical guidance on this process.

6.1.1 DATA STORAGE

With the large volumes of data generated by each DMA on a regular basis, data storage solutions must consider the physical storage infrastructure (offline devices, servers, backup systems, and online or cloud platforms), the selected database types, and the associated management practices (type of database, archiving, metadata).



SCADA systems are mostly designed for real-time control and visualization, and often do not include data storage solutions (data historian), therefore additional costs may apply, including software licenses, data historian subscriptions, storage infrastructure, and specialist staff.

The technical design of data storage systems falls outside the scope of this book and should be undertaken by qualified Data Engineers. However, it is important for water supply practitioners to understand the basic concepts that influence how data are stored, structured, and retrieved, which are presented below.

Table 6-1 Common DMA data types Water Utility stores.

Type	Examples	Update frequency
Time-series data	Flow, pressure, level, chlorine readings	Every few minutes/hours/days
Spatial data (GIS)	Pipes, valves, meters, DMAs	updated when network changes
Event/Log data	Alarms, leaks, maintenance work	as events occur
Reference/Metadata	Customer zones, meter IDs, units	rarely changes

Structured and Unstructured Data

Structured data – organized in rows and columns like Excel or SQL tables (e.g. hourly flow readings by meter ID). Unstructured data – documents, photos, PDFs, reports (e.g. leak inspection photos or field reports). The DMS system should be able to store structured data in a database and can link unstructured files through references.

Data Granularity

The best approach is to store raw data and derive aggregated versions (e.g., hourly, daily) for faster dashboards.

Data Warehouse

A data warehouse is a structured, query-optimized repository designed to consolidate operational data from multiple sources for analysis and reporting. Unlike operational databases, it is optimized for read-heavy analytical queries rather than real-time transactional updates.

Data Lake

A data lake is a large-scale repository that stores raw data in its native format — structured, semi-structured, and unstructured. Unlike a data warehouse, no structure is imposed at ingestion; schema is applied at the point of retrieval (schema-on-read).

Metadata

Metadata means “data about the data”, e.g. where the sensor is located (DMA, coordinates, pipe ID), units of measurements, communication type (GPRS, manual).

Single Source of Truth

The Utility must decide whether to use one central database as the single source of truth for all operational data or to maintain a separate database dedicated to NRW and / or leakage.

Big Data

A typical Water Utility operates at a scale of gigabytes rather than terabytes — below the threshold usually associated with Big Data infrastructure.

Integration

For integration between corporate platforms (SCADA, GIS, CMMS, hydraulic models), the recommended approach is to use APIs (Application Programming Interfaces) with standardized naming conventions, units, and timestamps.

Cyber Security

Cyber security in water Utilities focuses on ensuring that only authorized personnel can access specific systems at the appropriate time, and that operations remain safe and functional even when incidents occur. This is particularly important for highly automated networks with remote monitoring and telecontrol of equipment. The main risks arise from dealing with sensitive information (e.g. customers’ personal data) and with operational equipment critical for public health.

Core principles include restricting external access to Utility systems through firewalls and controlled logins, preventing file corruption through effective antivirus measures, and maintaining reliable backup and redundancy procedures so that operations can be restored quickly if something goes wrong.

Recent analyses found that the most common vulnerabilities in the water sector remain outdated software, unpatched systems, and weak authentication practices.

Data Pipeline

The process of moving raw data file through data processing and bringing it to the final form. Data pipelines have logging, monitoring, leaks – just like real water pipelines.

Data Archiving

Not all data needs to stay forever in the live system. You can plan to have Active Storage for the last 12–24 months of data (for dashboards, reports) and Archived Storage for older data compressed or exported (for audits or studies).

Backup and Redundancy

Data safety includes automatic backups (daily or hourly), Cloud or off-site storage for redundancy and version control (so data can be recovered after errors).

6.1.2 DATA PROCESSING

At a minimum, raw data must be processed to standardize values and remove obviously erroneous records — for example, those caused by equipment failures, de-calibrated sensors, missing signals, or persistent zero readings. This stage also involves integrating data from different corporate systems and ensuring consistency across sources, particularly when information is imported from SCADA, GIS, CIS, or asset management platforms. At this point, data are converted into the formats needed for analysis, including consistent units, time formats, and sampling frequencies, so that they can be viewed and interpreted meaningfully.

An important consideration is where this processing takes place: within the data storage platform or within the data analysis environment. Typical data cleaning and standardization activities include:

- ◆ Adjusting timestamps (consistent time zone)
- ◆ Removing duplicate entries (if same timestamp repeated)
- ◆ Generating continuous time-series from fragmented inputs
- ◆ Filling gaps and flagging missing data records
- ◆ Assigning quality flags for each record (OK, estimated, missing, sensor error)
- ◆ DMA-specific validation: meter drift detection, partially open boundary valve identification, inlet/outlet flow consistency checking, pulse resolution rounding errors in data loggers.
- ◆ Aggregation and resampling: temporal synchronization for the MNF analysis window, volume integration vs instantaneous flow rate readings, pressure averaging methods, handling of missing intervals.
- ◆ Unit harmonization: flow rate vs volume accumulation conventions, pressure unit standards, time zone and daylight-saving time handling, alignment of billing cycle data with operational 15-minute records.
- ◆ Derived parameter calculation: net DMA inflow from multiple inlet/outlet meters, rolling MNF statistics, AZNP and AZP derivation from pressure logger networks, smart meter aggregate demand profiles.

The data processing steps described here directly affect estimation uncertainty; see Chapter 3 for a framework for assessing and documenting data quality.

6.1.3 DATA ANALYSIS

Data Analysis component is where all collected information is turned into useful insights. It connects technical field monitoring systems with the end user and supports their decisions and actions.

Data analysis involves applying automatic algorithms that can match data sets between each other and make a meaningful conclusion, easy to interpret. The five core analytical functions of a DMA DMS are:

- ◆ Continuous performance monitoring: automated daily water balance, rolling MNF statistics, ILI tracking, pressure performance indicators across the DMA network.
- ◆ Anomaly detection and leakage event identification: time-series analysis of MNF step changes, pressure transient detection, statistical deviation from seasonal baselines.
- ◆ Root cause analysis and diagnostic support: correlating flow anomalies with pressure events, CMMS work orders, weather data, and meter maintenance records.
- ◆ Leakage component analysis: automated water balance decomposition, BABE component tracking over time, background leakage estimation from pressure-flow relationships.
- ◆ Trend analysis and performance benchmarking: multi-DMA comparison, year-on-year ILI progression, intervention effectiveness measurement.

As the analytical engine, or “brain” of a Data Management System, it applies a range of analytical models, from simple statistical methods to more advanced algorithms, including machine learning and other AI-based techniques, capable of handling large and varied data inputs.

This book presents the main data analysis methods relevant to leakage and NRW, described in Chapters 4. In a broader sense, DMA Data Management System may include multiple analytical modules, or functionalities, extended to analyze such parameters as advanced analysis of customer consumption and billing data, assets conditions, water quality, hydraulics of the network among others.

To support practitioners in navigating these methods, several important terms and concepts used in modern data analytics are explained below.

AI

Artificial Intelligence (AI) refers to computational systems capable of performing tasks that typically require human intelligence — such as pattern recognition, classification, prediction, and decision support — by learning from data.

ML

Machine Learning (ML) is a branch of AI in which algorithms are trained on data to identify patterns and improve predictive performance, without requiring manually coded decision rules.

Digital Twin

Following Torfs et al. (2022), a Digital Twin of a water network is a virtual model that continuously evolves alongside the physical system and updates automatically in real time to replicate actual hydraulic conditions. It can send control and operational commands back to the physical network. In a DMA context, a Digital Twin differs from a static hydraulic model in that it is continuously updated with real-time field data, enabling dynamic simulation of current network conditions.

Deep Learning

Subset of Machine Learning algorithms that teaches computers to perform tasks by learning from examples using "neural networks," which are inspired by the human brain.

LLM

Large Language Models - AI systems designed to understand and generate human-like text and are trained on massive datasets (like books, websites, and articles) to learn patterns, grammar, and context in language. Within water sector applications, LLMs can power natural-language query interfaces for DMS dashboards.

Predictive Data Models

One important component of data analytics is prediction, which is usually realized using Predictive Data Models: it looks at how things behaved in the past → finds patterns → and uses those patterns to forecast what will happen next. Predictive Models help water Utilities move from reactive operations ("fix it when it breaks") to proactive management ("anticipate and prevent problems"). Predictive data models can vary widely in complexity (Newhart K., 2023), and the analytical engine of a DMS should be optimized to use the appropriate mix of model types. This helps minimize the demand on storage, processing power, and operational memory, while ensuring that analyses run efficiently and at the required speed.

6.1.4 DECISION MAKING

The Decision Support component of the DMS converts analytical insights into structured options and recommendations, which authorized personnel use to make operational decisions. Based on data analysis results, it includes routine operational decision-making (e.g. prioritizing leak repairs or adjusting valve operations), as well as longer-term planning (e.g. investment programming or asset renewal strategies).

It is important to define who the decision maker is (e.g., a network operator or senior management), the level of decisions authorized for each user, and the type of output required, such as dashboards, KPIs, and reports. Final decisions may be executed automatically or manually and can incorporate different levels of hierarchical approval. Typically, decision authorization categories are:

- (1) automated pre-authorized routine responses (e.g., alert classification thresholds)
- (2) operator-initiated responses requiring explicit human authorization (e.g., field crew dispatch)
- (3) management-authorized strategic responses (e.g., pressure zone reconfiguration, rehabilitation investment).

Common NRW-related outputs to support operational and planning decisions are:

- ◆ Geographical representation of DMA parameters (NRW, NF, consumption, customers)
- ◆ DMA dashboards and reports
- ◆ Alarms and alerts (leaks, bursts, anomalies, equipment failure)
- ◆ KPIs (NRW, ILI, carbon balance, energy efficiency, service level)
- ◆ Multiparameter Risk Matrices (assets failure, preventive maintenance, pipe replacements)
- ◆ What-if tools (pressure optimization, pump operation, pipe isolation).

Another tool to support decision-makers is an automated chatbot, which can respond to natural-language queries and retrieve relevant data and reports from the DMS. Operators should verify chatbot responses against primary data sources before taking action.

6.1.5 ACTIONS

DMS can include various components to initiate, assign responsibility, follow up status and conclude actions followed from the decisions. Some examples of such actions in water network could be:

- ◆ Further investigation of alarm/alert
- ◆ Triggering emergency response
- ◆ Issuing remote control commands (valve open/close operations, pump start/stop, pressure control valve setting changes)
- ◆ Issuing work order for leak repair team
- ◆ Repair dispatches (leaks, instruments, teams)
- ◆ Issuing customer communications (water cuts, changes in pressure/quality)
- ◆ Scheduling preventive maintenance and replacement (pipes, valves, bulk and customer meters)

Section 6.3 “Event Management Systems” covers some specifics related to systems that deal with actions and events in the water network.

6.1.6 FEEDBACK AND IMPROVEMENT

The Feedback and Improvement component closes the loop of the DMA data management cycle. Once data-driven decisions and actions have been implemented — such as leak repairs, pressure adjustments, the creation or modification of DMAs, or new customer connections — it is essential to assess their actual impact on network performance. This component ensures that actions based on analytical insights are verified, lessons are captured, and processes are continuously improved.

Feedback begins when the results of operational actions are sent back to the data system. For example, after repairing a leak, the DMA flow and pressure data should be re-analyzed to confirm that the MNF decreased and service was restored. Such confirmation helps validate the

effectiveness of the intervention and builds confidence in the data-driven decision process. Similarly, if expected improvements are not observed, engineers can identify whether the cause lies in incomplete repairs, inaccurate data, or system modeling assumptions.

Each feedback cycle refines the accuracy of the system and strengthens collaboration between field teams, data analysts, and decision-makers. Over time, the platform evolves from simple monitoring into a learning system that helps Utilities plan smarter, operate more efficiently, and reduce losses sustainably.

6.2 MAIN CRITERIA IN DMS SELECTION

The term “DMA Data Management System” covers a wide range of products and capabilities. Utilities can easily be misled by marketing language without fully understanding what each term means in practice. For Water Utility it is important to choose the software that will really solve its day-to-day problems and to ensure that these tools serve the price paid—instead of the other way around.

Experience also shows that Utilities often fall into the trap of over specifying functional requirements for Data Management Systems. This not only drives up costs unnecessarily but also complicates the implementation process and leaves many advanced features unused (Féry G., 2022). This challenge is closely tied to the need for establishing key prerequisites before implementing DMS — including a clear digitalization roadmap, the right technologies in place, well-defined organizational processes, and the allocation of dedicated human resources. DMS selection should be driven by actual operational needs and data maturity — not by the sophistication of marketing materials.

The following is the list of DMS considerations that will hopefully guide Water Utilities to narrow down the choice, define the technical and economic requirements, shape the financing options and navigate the pool of offers.

6.2.1 NEEDS ASSESSMENT

Before any system evaluation, a Utility must define:

- ◆ Operational scope (number of DMAs, leakage management maturity, required analytical functions, decisions to be supported), see Appendix A for DMA Maturity Matrix
- ◆ Data readiness (collection frequency, quality, completeness, existing corporate systems)
- ◆ Organizational capacity (IT skills, staff training feasibility, change management context),
- ◆ Financial envelope (capital and operational budget over a 10-year horizon).

The Business-IT Maturity Model from Harris et al. (2013) provides a directly applicable five-level framework (Initial/Chaotic through Optimizing) for positioning a Utility's current state before DMS procurement. A Utility at Level 1 has fundamentally different selection criteria than

one at Level 3 — selecting a sophisticated DMS for a Level 1 Utility is likely to fail because the organizational prerequisites for operating it do not exist.

6.2.2 DATA INTEGRATION ARCHITECTURE

Integration complexity is consistently one of the top causes of IT project overruns in Water Utilities (Harris et al., 2013). A full integration assessment requires:

- ◆ Source system heterogeneity analysis (different asset IDs across SCADA, GIS, billing, CMMS; reconciliation effort required)
- ◆ Temporal synchronization analysis (15-minute SCADA data vs monthly billing vs sporadic GIS updates)
- ◆ API availability and vendor lock-in assessment (proprietary protocols, closed legacy systems, middleware costs)
- ◆ Real-time vs batch integration requirements (which analytical functions require live feeds vs daily transfers).

The architecture decision — point-to-point connections, enterprise application integration hub, or web service/service-oriented (SOA) model — must be made at the strategic level before any individual system is selected, because it constrains which systems are compatible and determines real total cost of ownership.

6.2.3 DATA GOVERNANCE FRAMEWORK

A governance framework defines:

- ◆ Data ownership and accountability (who owns each data stream, who resolves quality problems, who authorizes archiving)
- ◆ Data quality standards and enforcement (minimum acceptable standards, violation escalation procedures)
- ◆ Access control and user authorization (regulatory traceability, audit trail for reported figures)
- ◆ Data lifecycle management (retention periods, archiving authorization, regulatory requirements)
- ◆ Metadata governance (reference data management, change propagation, analytical reproducibility)
- ◆ Interoperability standards (FIWARE NGSI-LD, WaterML, OGC standards for vendor lock-in prevention).

Governance readiness assessment should precede DMS selection — governance maturity determines which DMS capabilities are realistically achievable. The Thomas (2004) definition adopted by Harris et al. is directly applicable: governance is 'a system of decision rights' and

accountabilities for information-related processes, executed according to agreed-upon models, which describe who can take what actions with what information, and when, under what circumstances, using what methods.

6.2.4 MODULES

Modern IT firms can deliver tailored data software solutions in a matter of weeks and can include almost any required functionality. It is therefore essential to decide carefully which functions should be integrated into the DMS, as this will determine the platform's cost, implementation time, complexity, and the human resources needed for deployment and operation.

Table 6-2 Main types of functionalities (modules) of water networks DMS.

Category	Module
Data Integration	Automated import of sensor signals
	Automated import of data from smart meters
	Automated import of data from permanent leak detection devices
Data Management and Processing	Centralized data storage
	Data processing
Non-Revenue Water	DMA-based NRW performance tracking
	Utility-wide NRW performance tracking
	Automatic leak and anomalies detection
	Tracking effectiveness of leak repairs
Asset Management	Management of customer meter inventory
	Smart meters management
	Network hydraulics
	GIS
	Work orders management
	Equipment and Material Inventory Management
	CAPEX planning
Operations	Telecontrols (SCADA-functionality)
	Alarms and event management
	Tracking leaks detection and repair
	Pumping optimization
	Energy consumption optimization
Client Management	Customer Billing Management
	Customer Relationship Management
	Advanced analytics of customer consumption and billing
User Interface	Virtual assistant (chat bot)
	Interactive GIS-based interface
	Mobile applications
	Customizable KPIs and reporting

6.2.5 TRADITIONAL DMAS VS OPEN NETWORKS

If the network is already divided or can be sectorized into traditional physical DMAs (with clear inlet meters and limited interconnections), there are many tools that work very well on a DMA-

by-DMA basis. These tools calculate NRW, MNF, leakage indicators and pressures for each DMA, and then aggregate the results to provide an overview of the entire system.

If the network is very difficult to divide into fully isolated sectors – for example, in dense and highly looped urban grids or in long branched tree-like rural networks – strict physical DMAs may not be practical. In these situations, specialized tools can work with Open Networks. Many of these tools use AI-based methods to analyze large and complex datasets (flows, pressures, meter readings, detected leaks) and to identify correlations between various characteristics of network and associated leakage levels and locations.

6.2.6 ON-PREMISES OR CLOUD-BASED

Cloud-solutions utilize specialized AI data centers, which allow processing of very large data sets and billions of operations in short time. Replicating similar computational capacity on the local server will require very large infrastructure investments. Given the large volume of data routinely handled by water Utilities, the cost of additional server hardware, space, maintenance, and human resources required for on-premises solutions often outweighs the cost of a Cloud-based solution.

The main constraint to using those powerful Cloud-based facilities is local regulation, which often prohibits storing sensitive information (such as customers' names and addresses) outside the country. This challenge is well known across many industries and can be overcome by using data centers physically located within the country or adopting hybrid architectures where sensitive data remains on premises also known as Sovereign Cloud.



It is also important to note that the cybersecurity protections of most commercial Cloud platforms are generally stronger than those of many

6.2.7 LICENSING

The heritage service type is perpetual license installed on-premises and includes one-time payment based on the number of licenses. Most of the providers steer clear of this licensing option nowadays.



Perpetual licenses typically include annual maintenance fees; failure to pay these fees may render the license invalid.

More common service type nowadays is SaaS (Software as a Service), where yearly license subscription includes continuous maintenance, updates, technical assistance and trainings. The cost is typically based on the size of network and number of licenses and often has additional setup fee.

The most advanced type is DaaS (Data as a Service) where the Utility shares system information and reporting needs, while the provider installs and maintains all loggers, connections, analytics, and reporting. Under a DaaS model, the Utility pays a recurring subscription fee in exchange for a fully managed data service — including sensor installation, transmission, analytics, and reporting — delivered by a specialized provider.

6.2.8 LICENSE-FREE TOOLS

One of the useful NRW tools and an industry standard is Excel-based WB-EasyCalcs (www.liemberger.cc). It is free, straightforward and estimates physical and commercial water losses based on Water Balance method recommended by IWA. Newer version WBC-EasyCalc (<https://github.com/Liemberger-Partners/easycalc>), extends the tool to include carbon balance calculations alongside the standard water balance, supporting Utilities reporting on energy and emissions.

GISWATER (www.giswater.org) is another free open-source software platform designed to help water Utilities manage, analyze, and plan their water supply systems more efficiently. It acts as a bridge between GIS (free QGIS) and hydraulic modeling software (free EPANET) with the central integrated database for all assets and parameters. It supports DMA management, NRW estimates, leak detection zones and hydraulic audits, other modules can be coded and are continuously added by the open-source community.

The main drawback of GISWATER is its steep learning curve. The interface is not very intuitive, and setting up and deploying the system typically requires a team of highly skilled IT and programming specialists. It is best suited for Utilities and consultants with strong in-house GIS and IT capacity, who prioritize full control and flexibility over polished interfaces and extensive vendor support.

6.2.9 ADDITIONAL COSTS

Usually, DMS license cost will depend on the size of the system: length of pipes, number of customers, number of DMAs, number of users, number of data signals, functionality modules included, etc. Some providers include setup costs in the licensing payment over the first period and others state it as a separate fee. Maintenance and technical support may or may not be included in the base license.

Another important hidden cost that should be anticipated is internal staff time. During the setup and configuration phase, which often lasts from three to twelve months, internal personnel will be heavily involved in workshops, data extraction and cleaning, validation of results, and testing

of dashboards and workflows. Operations, NRW, GIS and IT staff will therefore have less time for their usual daily tasks, and other projects may slow down.

Beyond the initial project, there are long-term internal resources to consider. A DMS usually requires ongoing attention from people who understand both data and the water system and new positions might need to be created (e.g. Data Analyst) or existing roles expanded (which might meet staff resistance).

On top of that, the DMS will often sit at the center of a wider ecosystem of tools which in turn will require additional licenses: online storage rental, data historians, GIS software, cybersecurity tools, and other specialized applications.

Hardware and infrastructure also contribute to the overall bill. Even with a Cloud-based solution, Utilities still need office workstations, laptops, large screens for control rooms, and tablets or smartphones for field teams. For on-premises or hybrid solutions, there may also be local servers, network equipment, cooling, power and physical space requirements, all of which must be installed, maintained and periodically renewed.

When comparing the costs of DMS, it is recommended to assess costs over a minimum 10-year horizon. It is also important to discuss with the vendor beforehand the following topics and clarify the roles, responsibilities and expenses involved:

- ◆ Full access to the data and algorithms
- ◆ Upgrades of platform to the newer version (every 3-5 years)
- ◆ Data growth (increased storage and license fees)
- ◆ New sensors added (license expansion)
- ◆ New user added (team expansion)
- ◆ Temporal access rights for third parties (consultants, sub-contractors)
- ◆ Additional training
- ◆ What happens if vendor pricing model changes
- ◆ What happens if vendor goes out of market and stops the support.

6.2.10 PROVIDER

Providers of NRW Data Management Systems generally fall into the following categories:

Large Multinational Corporations

These are well-established global companies that offer water system analytics as part of a broader suite of water management products. These companies often specialize in hardware solutions, integrating advanced data analytics with sensors, meters, and automation tools. While their scale and resources allow for robust, long-term support and stability, their primary business model may also focus on selling proprietary hardware and software ecosystems, which could limit flexibility in integration with third-party systems.

Large Software Providers

These companies specialize in hydraulic modelling and digital water management software, often expanding into NRW analytics as part of their broader solutions. Their core strength lies in hydraulic simulation, asset management, and predictive analytics, leveraging decades of expertise in engineering-grade modeling tools.

While these providers offer highly sophisticated, scalable platforms, they may require specialized expertise in implementation and customization. Additionally, their business model is often subscription-based, and they may prioritize integration with their own ecosystem of modeling and GIS tools, which could pose challenges for Utilities seeking vendor-agnostic solutions.

International Consultancies

These are consulting firms specializing in NRW reduction, water network optimization, and Utility reform, including the commercial software brands of private Water Operators. Many have developed in-house data platforms and analytical tools as part of previous or ongoing projects and now offer them commercially as stand-alone products.

A key advantage is that their platforms usually provide a very practical, problem-focused approach based on the real needs of Water Utilities. Typical drawbacks include a strong dependence on the consultancy for configuration, updates, and advanced analyses, and the software may be less standardized and less documented than products from software vendors.

Specialized IT startups

Smaller, agile companies focus primarily on software-driven analytics. These firms excel in data science, artificial intelligence, and customized software solutions. Their ability to quickly adapt and innovate gives them an edge in developing tailored, cutting-edge analytics tools. However, startups often operate with limited financial backing, meaning they may either be acquired by larger companies or face funding challenges. This introduces a level of uncertainty regarding their long-term availability and support.

SCADA Providers

These providers originate from the operational technology (OT) side, supplying SCADA systems, PLCs, RTUs, and telemetry solutions. Many have expanded their offers with basic to intermediate analytics, dashboards, and event management tools tightly integrated with their SCADA platforms. For Utilities that already use their control systems, this can provide a natural, low-friction path to real-time monitoring, alarms, and simple NRW indicators at plant or DMA inlet level.

However, SCADA-centric solutions are often less flexible for advanced NRW, customer, or commercial analytics and may have limited capabilities for open integration with external data sets.

6.2.11 LANGUAGE AND GEOGRAPHICS

Digital platforms today can technically be accessed from almost anywhere in the world, and many user interfaces can be translated into multiple languages. In practice, however, language and geography still matter a lot when choosing and operating a DMS for a water Utility. Cultural misunderstandings are still common in communication, especially when dealing with technical support and training accompaniment.

Some countries restrict the storage of personal or operational data outside national borders or require that primary databases be hosted on servers physically located in the country. This fact can greatly limit the choice of fully Cloud-based platforms.

Many digital water tools have been developed and tested in Utilities with high data availability and quality: dense metering, stable SCADA, good asset registers and continuous supply. In regions where data is sparse, intermittent, or of uncertain quality these tools may be overdesigned and expensive for what is realistically possible. Moreover, they will most probably produce unreliable results if fed with low-frequency or incomplete data.

Rural areas or Utilities in low-income regions may have limited bandwidth or unstable internet. In such cases, solutions that include offline-capable mobile apps, local buffering of data, and light web interfaces become more important design criteria.

When planning a DMA DMS project, it is important to align early with the funding agency and procurement team on any geographical or local-content constraints.

6.2.12 IMPLEMENTATION

Water Utility practitioners are typically more familiar with linear project management — planning, design, construction, and closeout — than with the iterative approaches used in software development. Digital tool development is inherently iterative—user needs evolve, problems surface during setup and use, and requirements change with time. To succeed in digital transformation, we must embrace Agile Concepts like sprints, user stories, MVPs (Minimum Viable Products), and continuous feedback loops. Successful DMS implementation requires iterative development, close collaboration between IT, NRW, and field teams, and a willingness to refine the system based on operational feedback.

Many modern DMS providers offer to implement a pilot platform on a small part of the network (for example, a few DMAs) either free of charge or at a discounted price. The real challenge is to turn these pilots into standard practice, supported by documented procedures, staff training, and a dedicated budget.

6.3 EVENT MANAGEMENT SYSTEMS

An EMS is a module within a Data Management System that focuses on detecting, classifying, prioritizing, and tracking water network events such as leaks, bursts, pressure anomalies, sensor failures, and unusual consumption patterns. It uses data from monitoring devices to flag potential incidents and support subsequent diagnosis, decision-making, and response. Although EMS platforms can raise alarms in near real time, detection speed depends on data transmission frequency, latency, and the reliability of the sensor network.

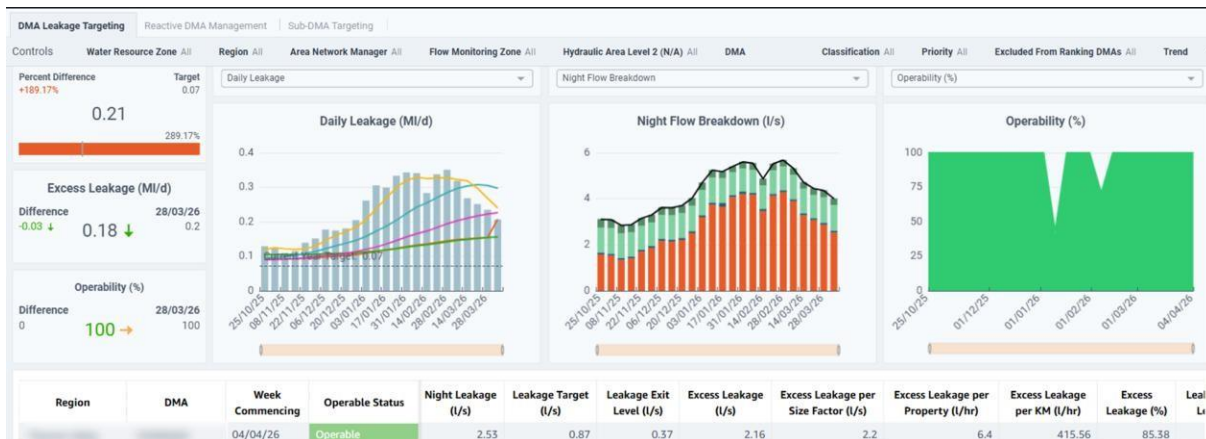


Figure 6-3 Example of dashboard of Event Management System (source: Crowder Consulting).

Modern EMS has evolved through three distinct generations whose capabilities, data requirements, and false positive rates differ significantly:

- Generation 1 (Rule-based):** deterministic threshold alerting on absolute values (e.g., MNF > threshold). Simple, interpretable, but high false positive rate due to seasonal and demand variations.
- Generation 2 (Statistical Pattern Recognition):** ARIMA models, seasonal decomposition, time-series anomaly detection. A step change in MNF detected by these methods is a direct automated leakage flow estimate — this is continuous automated MNF Analysis. This generation dramatically reduces false positives by establishing dynamic baselines.
- Generation 3 (ML-enhanced):** supervised classification of event types, unsupervised clustering of events, LSTM networks for multi-variable detection. Adds event type classification (burst vs background leak vs meter fault vs boundary valve movement) beyond detection.

Within an EMS, the full lifecycle of an event can be managed—from the moment it is opened until it is resolved. Statistical methods and, increasingly, machine learning are used to learn the network's normal behavior and build predictive models. Incoming measurements are continuously compared against historical patterns and expected values to highlight deviations, enabling earlier detection of leaks, bursts, equipment malfunctions, or abnormal consumption.

A key strength of EMS lies in its ability to combine signals from multiple sources—flows, pressures, levels, customer meters, complaints, and sensor status—to improve the accuracy of detection. This integration helps distinguish genuine incidents from noise and reduces the number of false alarms, so that Utilities can focus on real issues and respond faster. Alarms still need validation, which typically involves assessing the duration, magnitude, and shape of the anomaly.

The anomaly detection engine of a modern EMS automates the MNF step-change analysis described in Section 4.2.3, applying it continuously across all monitored DMAs and generating alerts when new leakage signatures are detected.

6.3.1 TYPES OF EMS

An EMS can be deployed with varying levels of complexity and automation, depending on the needs and digital maturity of the Utility. Consider starting with a simple task management system where a full logbook is maintained from events of the network. If you are part of a large Utility (200+ km of pipe), think about full integration, to overcome manual errors and reduce labor intensity.

Basic Level – Manual Systems

At the most fundamental level, a simple Task Management System may be sufficient. In this setup, data collection and reporting are largely manual. Utilities can still classify events into categories such as leaks, bursts, or maintenance activities, while also recording valuable contextual information about the network. For example, records may include whether a leak was caused by asset ageing, pressure surges, or third-party activity. Even at this basic stage, the captured data can support future asset management strategies by building a historical record of network events.

Advanced Level – Integrated Digital Systems

At more advanced stages, EMS are fully integrated into the Utility's digital ecosystem. Events are automatically enriched with all relevant data, including location, asset information, and event classification. Sophisticated platforms can automatically determine the type of event using predefined rules or AI-based algorithms.

In such setups, Utilities often rely on several specialized systems, for example, SCADA, GIS, CIS, and maintenance platforms—that are interconnected. Despite the complexity, a “single source of truth” is maintained so that all teams work from consistent and reliable event information.

Commercial Turnkey Solutions

Beyond custom-built integrations, there are complete commercial EMS packages available. These provide ready-made solutions that combine advanced integration, automation, and reporting functions. While more costly, they offer Utilities a faster path to digital maturity with standardized best practices already embedded.

6.3.2 WORKFLOW

At its core, an EMS is a central hub where events from different monitoring and operational systems are collected and managed throughout their lifecycle. Events may originate from leak detection platforms, network monitoring tools, or critical infrastructure such as pumps.

For example, in case of a leak detection scenario, the typical workflow of EMS would be:

Event Detection and Classification

- ◆ From minimal night flow detection systems an anomaly in DMA-03 shows increased night flow.
- ◆ System classifies this as a potential leak with medium priority based on flow rate and pressure readings.
- ◆ Events are automatically generated and assigned to the network operations team.

Initial Assessment and Planning

- ◆ Historical trends confirm this is a new anomaly, not a recurring pattern, for example from minimal night flow.
- ◆ Work order management system is checked if maintenance activities are ongoing in the area.
- ◆ Customer service system is verified if residents have reported service issues.
- ◆ Operations engineer (or an automated algorithm) classifies and validates the event, deciding whether it is a false positive or requires further investigation by a field crew.
- ◆ Team schedules field investigation within 24 hours based on leak classification.

Field Investigation

- ◆ Field team uses system-generated possible perimeter of the leak.
- ◆ Acoustic leak detection equipment is deployed along the suggested pipe segments.
- ◆ Field team documents leak size, location, and surrounding conditions.

Response Coordination

- ◆ Work order is automatically generated in the event management system.
- ◆ Repair priority is set based on leak severity and potential service impact.
- ◆ Required resources (staff, equipment, materials) are allocated.
- ◆ Affected customers are notified if service interruption is necessary.

Resolution and Documentation

- ◆ Post-repair flow monitoring confirms return to normal network behavior.
- ◆ System transitions event status from "active" to "resolved".

Analysis and Learning (PDCA)

- ◆ Response time metrics are compared against performance targets.
- ◆ Insights about pipe material and age are recorded for asset management.
- ◆ Alert thresholds are refined based on successful detection.

This process not only improves the accuracy of event handling in real time but also builds a structured historical record that can be leveraged for asset management, predictive maintenance, and long-term planning.

6.3.3 PLAN-DO-CHECK-ACT (PDCA)

An event has its lifecycle from when it is detected to when it is closed. In most cases the traditional Plan-Do-Check-Act (PDCA) scheme is suitable for the follow-up of events, and most modern EMS should have this included:

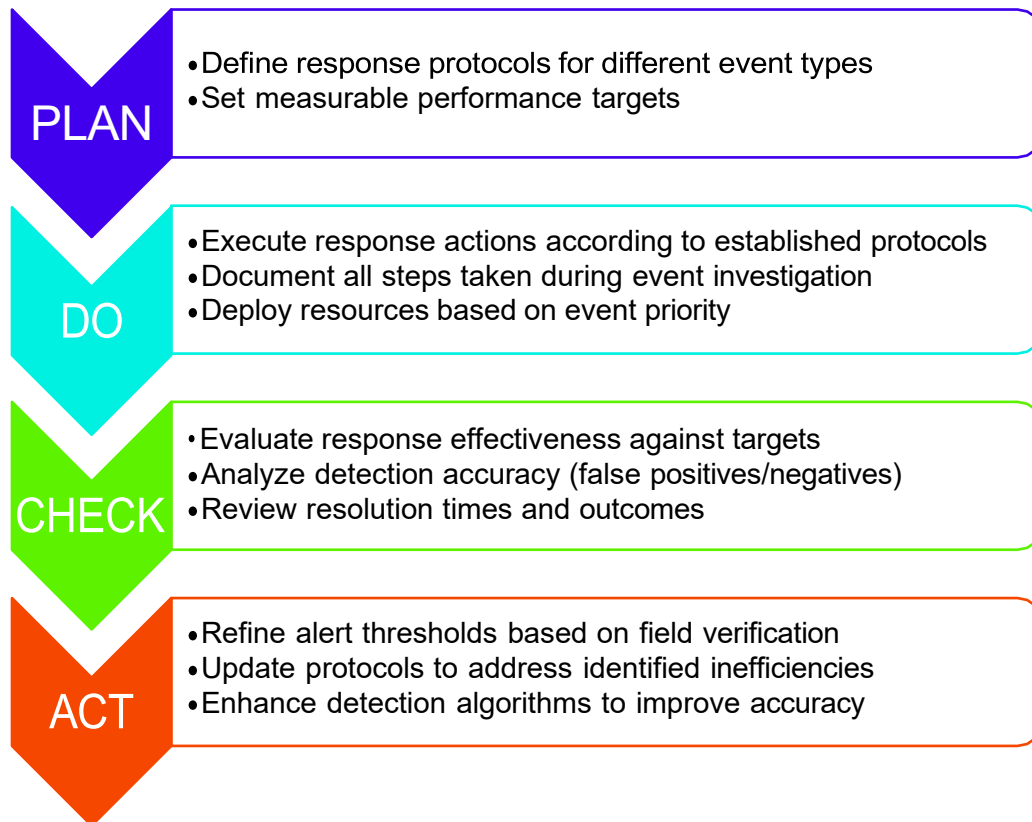


Figure 6-4 PDCA process for EMS events.

6.3.4 COMMON CHALLENGES

Incorrect setup of an EMS is often the result of recurring mistakes. The most frequent ones include:

Lack of a Single Source of Truth

EMS platforms typically collect events from various subsystems. For example, a pressure monitoring system may generate an event containing pressure data. However, the true source of this data is usually the SCADA system or the historian. Operations engineers should always reference the original source of truth to make accurate judgments.

Multiple EMS Systems in Parallel

Many commercial leak detection or anomaly detection tools include their own built-in event management features. Running several EMS platforms in parallel increases integration complexity and leads to fragmented information flows. Historical event records are often not centralized, making it harder to use them for other purposes such as asset management or long-term planning.

Poor or Inconsistent Data Logging

Some systems capture insufficient event details, limiting the usefulness of logged data. In other cases, engineers apply inconsistent or subjective criteria (e.g., when assigning impact levels), which undermines data quality and comparability. Consistency and completeness in logging are essential for reliable analysis and decision-making.

6.3.5 EXAMPLES OF EMS ALERTS

DMA Flow Alerts

Alerts generated based upon flow data indicate whether flows are High/Low/Flat/Dead/Faulty. For example, a high flow may indicate that a burst has broken out on the network.

Flow Alerts are generated based upon:

- ◆ Comparison of actual flow data for individual meters with upper and lower flow profiles (envelope).
- ◆ Comparison of actual DMA net flow data with upper and lower flow profile (envelope).
- ◆ Identify significant increases in MNFs for DMAs.
- ◆ Identify significant changes in Total Daily Flow for DMAs or individual meters.
- ◆ Identify smaller changes over time that represent a shift in behavior

Validation example: If a high flow alert is triggered but lasts only a short period, it may not meet the threshold to be classified as a potential event. In contrast, a sustained high flow alert that does not resolve could indicate a more serious issue, such as a burst developing within a DMA.

DMA Pressure Alerts

Alerts generated based upon pressure data indicate whether pressures are High/Low/Flat/Dead/Faulty. For example, low pressure may indicate that customers are without a water supply due to failure on the network.

Pressure Alerts are generated based upon:

- ◆ Comparison of actual pressure data for individual sensors with upper and lower pressure profiles (envelope).
- ◆ Identify significant surges or drops in pressure between readings.
- ◆ Identify significant changes in Maximum, Minimum and Average Pressures for individual pressure sensors.
- ◆ Identify smaller changes over time that represent a shift in behavior.

Validation example: When pressure drops below the lower threshold for short periods but occurs frequently throughout the day, it may indicate a potential event. While each individual alert is brief, the recurring pattern suggests a broader issue within the network. Grouping these alerts can help identify underlying problems, such as a pressure control issue which may require further investigation.

Reservoir Level Alerts

Alerts generated based upon level data indicate whether levels are High/Low/Flat/Dead/Faulty. For example, a consistently high level may indicate that the ball valve on the service reservoir is failing causing it to overflow.

Level Alerts generated based upon:

- ◆ Comparison of actual level data for individual sensors with upper and lower-level profiles (envelope).
- ◆ Identify if level sensor at or above top water level for significant period.
- ◆ Identify if level sensor at or above bottom water level for significant period.
- ◆ Identify if level sensor has significant drop in level over a period.

Validation example: A flat level measurement in a water tower or tank over parts of the day is not, on its own, enough to indicate a potential event. However, if the flat level exceeds the tank's top water level, it may signal an overflow potentially caused by a faulty float valve or a timing issue with the pumps feeding the tank. It is important to consider both the magnitude of the

level and any irregular patterns, as these can provide critical context for identifying abnormal behavior in the system.

Smart Consumption Meter Events

Smart Consumption Meters are Automatic Meter Reading (AMR) or Advanced Metering Infrastructure (AMI) meters; they can use static or mechanical measuring principle with integrated or add on electronics used for consumption metering. They can generate data and alerts far beyond normal meter index data.

The data and alerts can be generated by the smart meter itself (i.e. edge analytics) or within the head end system using granular interval data (at least hourly). It is important to note that a meter that is read manually, or only annually, or used solely for billing index reporting is not functioning as a smart meter and represents an investment with questionable return.

Appendix G describes the real case of a Danish utility that has successfully implemented a digital Leak Management strategy powered by Smart Meter Technology.

Some example data:

Leakage downstream of meter (customer side leakage):

Most smart meters have a functionality to identify a potential leak after the meter. Those alerts are generated based on the analysis of minimum flows over a period to identify continuous flows. For example, a residential meter should stop at least once per day (or during a defined period) if not a leakage alert is sent.

Leakage upstream of meter:

Recently smart meters appeared on the market which use ultrasonic flow measurement sensors to perform acoustic noise level analytics similar to noise loggers for acoustic leak detection. When installed at sufficient density alongside meters of the same type in neighboring locations, this approach makes it possible to identify zones of potential upstream leakage.

Validation example: A sudden increase in consumption for smart-metered customers may indicate water wastage particularly if the minimum flow rate remains above zero for an extended period. Assessing how much the flow has increased and over what duration can help validate whether the alert represents a potential event requiring further investigation.

REFERENCES

A.Bojko, G. Féry (2026), *NRW Digital Platforms: Practical Advice for Water Utilities*. www.nrwtech.org/nrw-digital-platforms.

Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI). (2024). *Secteur de l'eau, état de la menace informatique*.

AI in the Water Industry. (2023). CwMAG Workshop, November 2023. Tridend Group Solutions.

Cahn, A. and Mertzanis, M. (2024). *DaaS Playbook: It's All About Services*. SWAN, UK.

Digital Transformation for Growing Water Utilities. (2025). Boston Consulting Group (BCG) and Japan International Cooperation Agency (JICA).

EasyCalc. Liemberger & Partners. Available at: www.liemberger.cc and <https://github.com/Liemberger-Partners/easycalc>

Eckerson, W. (2020). *The Rise of Unified Data and Analytics Platforms*. Eckerson Group / Datalere.

EPA Interagency Water Workforce Workgroup. (2020). *America's Water Sector Workforce: Report to Congress*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, USA. Available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-04/documents/epa_water_workforce_report_to_congress_2020.pdf (accessed November 2025).

Féry, G. (2022). *The Digital Journey of Water and Sanitation Utilities in Latin America and the Caribbean: What Is at Stake and How to Begin*. Inter-American Development Bank (IDB), Washington DC, USA.

Foundation for Water Research. (2023). *Bridging the skills gap in the water sector*. Available at: <https://www.fwr.org/water-sector-skills-gap> (accessed 16 June 2025).

GISWATER Project. *GISWATER*. Available at: www.giswater.org

Global Water Research Coalition. (2023). *The Digital Water Utility of the Future*.

Grigg, N. S. (2025). Digital Transformation in Water Utilities: Status, Challenges, and Prospects. *Smart Cities*, 8(3), 99.

GSMA. (2022). *Water Utility Digitalisation in Low- and Middle-Income Countries: Experiences from the Kenyan Water Sector*. GSMA, UK.

Hamilton, S., Charalambous, B. and Wyeth, G. (2021). *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, London, UK.

International Water Association (IWA). (2022). *Digital Water Book 2022 – Digital Water White Papers Series*. IWA Digital Water Programme.

Harris, D and Azagra, E. (2013) *High-Performing Information Systems Aligned With Utility Business Strategy*, WRF.

Mahajan, P. and Dhanasekar, A. (2025). Bridging the Gap: Bringing Agile Innovation to the Water Sector. *Water Online*, 8 May 2025.

Martinez Alzamora, F., Conejos, P., Castro-Gama, M. and Vertommen, I. (2021). *Digital Twins – A New Paradigm for Water Supply and Distribution Networks*.

Muncaster, P. (2023). Over Half of Attacks on Electricity and Water Firms Are Destructive. *Infosecurity Magazine*, April 2023.

Pérez Penalosa, F., Lombana, C. and Saltiel, G. (2024). *Utility of the Future 4.0*. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.

Plumlee, M., Newhart, K. and Thompson, K. (2023). *Webinar: Artificial Intelligence (AI) in the Water Industry*. Orange County Water District. Available at: www.youtube.com/watch?v=M3AQTs5iN5g

PUB, Singapore's National Water Agency. (2020). *Digitalising Water – Sharing Singapore's Experience*. IWA Publishing.

Sami, W., Sheehan, J. and Cox, T. (2023). *The Digital Journey of Water and Sanitation Utilities in the Caribbean*. Inter-American Development Bank (IDB), Washington DC, USA.

Thomas, Gwen. (2004). *DGI Data Governance Framework*. The Data Governance Institute.

Torfs, E. et al. (2022). The transition of WRRF models to digital twin applications. *Water Science and Technology*, May 2022.

WRF (2013), *High-Performing Information Systems Aligned With Utility Business Strategy*, Water Research Foundation.

World Bank. (2025). *Digital Transformation Overview*.



Water Utility Control Center (image generated by AI, Nano Banana, 2026)

APPENDIX A DMA MATURITY MATRIX

T. Kressin, F. Garzón, M. Willmott, A. Bojko

To help practitioners assess the maturity level of their network, this appendix provides a **DMA Maturity Matrix**. The matrix is based on the experience and judgment of several leading leakage practitioners. Ideally every DMA within a utility could be assessed using this matrix.

The matrix serves three main purposes:

- ◆ **Assessment of Current Maturity**

It allows leakage practitioners to evaluate the maturity level of their DMAs. By understanding their maturity, they can determine which concepts and recommendations in this book are most applicable.

- ◆ **Roadmap for Improvement**

It outlines a pathway for utilities seeking to develop more advanced DMAs. The matrix shows how to progress from a “Basic” to a “Leading” level across different areas.

- ◆ **Template for Customization**

It provides a framework that utilities can adapt into a simpler or more advanced maturity matrix. Utilities may develop their own scoring systems. For instance, they might award:

- 1 point for each area where a DMA is assessed as “Basic,”
- And 4 points for areas assessed as “Leading,”

To give a worked example, a DMA which was Basic in 12 areas, Intermediate in 3 areas, Advanced in one area and leading in one area, could score 25 points (assuming 1 point for Basic, 2 points for Intermediate etc).

Criteria		Basic	Intermediate	Advanced	Leading
Physical Assets	DMA Integrity	DMA proven to be valved in at time of commission	Boundary proven to be tight with PZT test (or equivalent) within last 5 years	Boundary proven to be tight with PZT test (or equivalent) within last 2 years	Ongoing proactive monitoring to ensure tightness of boundary
	Customer connections	Estimation based on sampling, peer DMA or other means (satellite images, households / sqm, census figures etc.) Estimation should be with precision of at least 20%	Connections are known with precision of at least +/-10% Updated within a year of a change	Connections are known with precision of at least +/-5% Updated within a month of a change	Connections are known with precision of at least +/-2% Updated within a week of a change
	Pipe length	Estimated based on maps	Based on actual records Updated within a year of a change	Based on actual records Updated within a month of a change	Based on actual records Updated within a week of change
	GIS	As built drawings Key assets available (such as pipe work & valves), but other assets such as hydrants may be missing Customer connections coverage is optional	Fully operational GIS Updated on a regular basis and contained all key assets All assets are digitized in GIS with attributes and unique references (DMA polygons, boundary valves, inlet outlet meters, pressure monitoring points)	Fully operational GIS Updated within a week of any changes All assets are digitized in GIS with attributes and unique references (DMA polygons, boundary valves, inlet outlet meters, pressure monitoring points) All customers and revenue meters geocoded, with unique reference that matches with billing system records All items have elevation data All assets have complete information & attributes	Fully operational GIS Updated within 24 hours of any changes All assets are digitized in GIS with attributes and unique referencing (DMA polygons, boundary valves, inlet outlet meters, pressure monitoring points, customer connections) All customers and revenue meters geocoded, with unique reference that matches with billing system records All items have elevation data Additional information digitized (such as leaks, repairs, customer contacts)
	Hydraulic model	No hydraulic model Only operational knowledge of network hydraulics	A simple, static hydraulic model Updated occasionally	Calibrated hydraulic model based on GIS updates Maintained and updated regularly	Fully integrated, dynamic hydraulic model linked with real-time DMA data (SCADA) and GIS
Demand Estimates	Population served	Based on the Government Census Data	Based on high level company data	Based on zonal or regional data	Based on DMA specific data
	Consumption	Consumption measurement accuracy within +/- 20% Manual eyeball and self-reading Paper based records No night use consumption model	Consumption measurement accuracy within +/- 15% >75% operational meter penetration Yearly Keyed meter reading with consistency checks (paper based not accepted anymore) Customer night consumption based on regional sampling with consistent and adapted peer groups reference values not older than (5) years Top 5% C&I consumers have AMI daily reading of hourly data	Consumption measurement accuracy better than +/- 10% >90% operational meter penetration >50% AMR reading with monthly consumption values, nightline & customer leakage data < 50% Keyed meter reading with consistency check at least Quarterly Top 10% C&I consumers have AMI daily reading 15min data	Consumption measurement accuracy better than +/- 5% >95% operational meter penetration 80% AMI penetration 90% daily reading with hourly values <20% AMR reading with daily consumption and nightline data Keyed meter reading not accepted anymore Large (>48m3/day) or irregular consumers that have a material effect on night lines have AMI daily reading 5min data

Sensing and Control	DMA inflow monitoring	Multiple inlets and outlets without logging Temporary DMA metering and logging Manual reads	Multiple inlets and outlets accepted only with permanent metering and datalogging if combined measurement accuracy <10% Meter data logging at least weekly	Multiple inlets and outlets accepted only with permanent metering and datalogging if combined measurement accuracy <5% Meter Data Logger or PLC sends in data daily	Multiple inlets and outlets accepted only with permanent metering and datalogging if combined measurement accuracy <2% Meter Data Logger or PLC sends in data hourly
	DMA Meter Maintenance	Reactive meter checks Meters are replaced on terminal failure	Meters replaced on fixed time frame	Modelled approach to meter replacement based on companies metering stock and testing	In addition to companies own replacement modelling, proactive flow tests every three years
	Pressure control	Temporary pressure readings Adjustment for AZP if pressure not monitored at AZ	Permanent monitoring of pressure Adjustment for AZP if pressure not monitored at AZ.	Permanent logging of AZP and CP Time or flow modulated Pressure Management	Permanent logging of AZP and CP Pressure modulated to CP Transient Pressure Monitoring & Analytics
DMA Performance	Assessment Frequency	Infrequent (at least every 12 months)	Regular (at least every month)	Frequent (at least weekly)	Daily
	Data management and reporting	Manual process Standalone data sources and systems PC spreadsheets accepted	Multiple databases Systems with semi-automatic data validation PC Spreadsheets accepted for utilities with <20 DMAs	Unified database with automatic data validation Peer group DMAs & seasonal adjustments	Advanced Leakage Management System Using AI to detect abnormal patterns, demand trending
	KPI reporting	Manual process Updated at least every year Shared with stakeholders	Defined process for targets, sharing and actions	Integrated KPIs & dashboards	Full Audit Trail Integrated KPI Dashboard
	Data Availability	At least enough data to provide annual assessment	75% of months of the full data (9 months)	At least 44 weeks (85%) of full data	At least 330 days (90%) of full data
	Data Handling Staff	No dedicated data staff	Some staff have data responsibilities alongside other duties	Dedicated team (2-3 people) trained in relevant tools	Specialized data analytics team with advanced skills (data engineers and analysts)
Loss Management	Active leak detection	Infrequent surveys	Regular surveys at least every 24 months unless justified	Targeted approach of surveys based on flow and pressure data	Permanent Leakage Detection System (such as acoustic loggers) working alongside Advanced Leakage Management System
	Repair Times	Within 7 days	Within 3 days	Within 24 hours	Within 8 hours

TABLE A-1 DMA Maturity Matrix.

APPENDIX B DATA LOGGERS

C. Henriquez, T. Kressin, J. Sepulveda, G. Waley

DMA DATA LOGGERS

LPWAN COMMUNICATION MODES

Today lift and shift logging with local read out is still used but the availability of cost-effective remote communications has drastically increased during the last years especially with the enhancement of cellular based technology with excellent deep underground, battery lifetime and communication cost performances. As DMA meters are often installed underground and the amount of data is not too high, NB-IoT is often considered the best option to choose (see Figure B-1 *Typical installation of a NB IoT & LTE CAT M1 pressure logger using a modified hydrant cap to access the pipe. as an example of an Installation*).

Most data loggers offer today multiband and multimode connectivity so that the ease of use is unprecedented to what the industry was used just some years ago.

For Europe, North America and Australia coverage even in rural areas and read success rates have reached levels which could only be described with “plug & play”. Latin America and Asia are catching up quickly and LTE / 5G based loggers provide a reasonable alternative to previously mentioned LPWAN technologies.

DATA LOGGER TRANSMISSION INTERVALS

Transmission intervals for data logging should be set to at least once every 24 hours, preferably scheduled for the early morning hours, just before normal service staff working hours. This ensures that any operational anomalies detected overnight can be addressed promptly at the start of the working day.

High-quality data loggers allow thresholds to be configured directly in the device. When these thresholds are exceeded, the logger can trigger a dedicated alarm message to prompt immediate action. However, such alarms only reflect a single snapshot in time and can easily become excessive if the thresholds are set too narrowly, leading to “alarm fatigue” where important alerts risk being overlooked.

Recent advancements in Low Power Wide Area Network (LPWAN) communications and electronic design now enable more frequent transmissions without compromising multi-year battery life. Some modern models can transmit data hourly while still achieving a 5-year battery lifespan. Hourly transmissions provide near real-time visibility, enabling operators to track evolving events in the field and respond more effectively.

With more frequent transmissions, the risk of alarm overloading is greatly reduced, as complex, multi-parameter alarm logic can be implemented in the head-end software rather than relying solely on single-value thresholds in the field device. While there are scenarios—such as rapid

transient detection—where higher frequency data could offer added value, for most DMA applications hourly transmission intervals strike the right balance between operational insight and battery efficiency.

THE IMPORTANCE OF TIME / INTERVAL SYNCHRONIZATION

Interval data must be accurately time-synchronized; otherwise, they cannot be reliably used for operational analysis or decision-making. The real-time clocks in data loggers naturally drift over time due to factors such as aging of components, temperature fluctuations, design specifications, and manufacturing tolerances.

Modern LPWAN-based devices can frequently synchronize their internal clocks with internet time servers, often on a daily basis, achieving precision better than one second. This level of accuracy reduces the additional error in flow measurements to less than approximately 0.1%, making it operationally insignificant.

In contrast, older models of data loggers often drift more than five minutes from the actual time. Such discrepancies make precise calculations—especially those involving multiple inlets, outlets, or synchronized pressure and flow datasets—unreliable or even impossible.

FIT FOR PURPOSE IN INSTALLATION CONDITIONS

Besides the connectivity and battery life aspects some further selection criteria are important to consider:

Water Tightness

While many models provide a IP68 rating on paper it is important to consider the duration of exposure. When submerged under water or in installed in conditions with permanent condensation, water will migrate through plastic materials such the housing, potting or coating and can generate failures of electronics after some months or years in service. Most IP68 ratings are only valid for a limited amount of time and as there is no defined definition on depth and duration in IP68, each vendor can use different specifications.

In any case data loggers should be mounted outside the frequently area and connections should be sufficiently protected. In some cases, also animals could be attracted by specific additives of plastics and bite into cables resulting in erratic or broken connections.

External vs. Internal Antennas

While internal antennas provide an easier way of installation it is due to the nature GSM based communication at high frequencies with multiple bands (in the range of 700-1900MHz), those internal multiband antennas are a compromise which comes at the cost of performance. In the reality of underground installation, specific antennas adjusted to the target bands provide significantly better signal and connectivity.

A 10dB improved antenna signal offers by a factor 10 better signal strength: +6dB = x 4, 10dB = x 10 and +20dB is a factor x 100. A well-tuned efficient antenna can be compared to a tuning fork where it resonates only efficiently on a single band frequency (and its harmonics).

Beside the pure connectivity “yes or no” status, it also important to consider that if the signal is weaker, the data logger will transmit at higher power with lower data rates and/or more repetitions – thus is resulting in a reduced battery life and potential loss or delay of data.

Configuration Interface

The data logger needs to be easy to configure by the field team. In the past, often a dedicated complex PC software was used with special hardware interfaces to communicate via wired serial or infrared interfaces. Those setups require special additional hardware interfaces and training.

Today Near Field Communication (NFC) or Bluetooth are more readily available. These technologies enable the logger to be configured and activated in more challenging conditions. Although Bluetooth is more energy hungry and can require a special wake up procedure (e.g. via swiping a magnet), it offers the possibility to communicate through the closed chamber lid, therefore enabling call tests to check signal strength in real world environments. NFC is an alternative option, where the target data logger device is directly selected by bringing the mobile phone close to it and no special pairing or wake up step is needed. However, some utilities do not allow the use of NCF or Bluetooth due to cyber security concerns.



FIGURE B-1 Typical installation of a NB IoT & LTE CAT M1 pressure logger using a modified hydrant cap to access the pipe.

LOGGER INTERFACE AND APPLICATION SUITABILITY

Table B-2 summarizes meter to logger interfaces and their application suitability and following sections explain them in more detail.

TABLE B-2 Flow meter to logger interfaces summary.

Method	Description	Pros	Cons	Suitability for DMA
Volume Pulses per Interval (PIV)	Logger counts pulses per interval.	Simple and widely used Reverse flow detection possible	Poor resolution at low flow if large turndown ratio is required	Most suitable for DMA applications
Pulse Interval Time (PIT)	Logger measures time between pulses	Efficient for low or no-flow periods Captures short high-flow bursts accurately	Complex processing Poor synchronization in multi-inlet/outlet DMAs	Rarely used in DMA
4–20 mA Analog Interface	Flow rate represented as current (4 mA = min, 20 mA = max).	Industry standard Continuous flow representation	Power hungry Not suitable for battery-powered devices	mains-powered production meters
Modbus (RTU/ASCII)	Serial protocol over RS-485/RS-232.	Open and widely supported	No security Master-slave only High power use	Not used in battery-powered DMA metering (reserved to production meters)
HART	Digital over 4–20 mA, used in process industries.	Digital over analogue wiring Widely adopted in industry	Slow & Power intensive	
M-Bus (EN 13757)	Wired protocol designed for metering.	Low power Long cable runs Real index transmission	Limited to specific regions Not ideal for high flow/short intervals	Suitable for battery-powered DMA, but logger options limited

PULSE INTERVAL VOLUME BASED (PIV) INTERFACE

Pulses per Interval Volume Based (PIV) is the most widely used interface method for connecting a flow meter to a data logger. In its simplest form, it relies on a mechanical reed switch located inside the meter, which is briefly closed each time a magnet in the register passes by—typically after a defined volume of water has passed (e.g., every 100 litres). The data logger monitors the state of this contact and counts the number of closures, or “pulses,” within the configured logging interval.

Although the term “pulse output” is commonly used in the industry, it is technically imprecise, as the signal is actually a change in the contact state rather than an electrical pulse. Modern electronic interfaces—either for mechanical meters or for the electronic registers of static meters—replicate this functionality using a semiconductor switch instead of a mechanical reed. This provides higher reliability and longer operational life.

Many meter models today also offer enhanced functionality, such as the ability to measure reverse flow by providing a second output or an additional status line.

When using pulse outputs, it is critical to carefully select both the pulse weight (volume represented by each pulse) and the logging interval. Incorrect configuration can lead to two main problems:

- ◆ Missed pulses – This occurs when the maximum counting frequency of the logger is exceeded (less common).
- ◆ Insufficient resolution at low flows – This is a frequent issue, especially for night flow monitoring, where low pulse rates make the data unusable.

As a general rule, at the lowest expected flow rate, the logger should record at least 10 pulses per logging interval to ensure meaningful data resolution.

Example:

With a 15-minute logging interval and a pulse weight of 100 L/pulse, the minimum flow rate should not drop below **4 m³/h**:

$$100 \text{ L} \times 10 \text{ pulses per 15 min} = 4 \text{ m}^3/\text{h} (\approx 1.1 \text{ L/s}).$$

If the flow rate falls below **3 pulses per logging interval**, the data loses accuracy and becomes unreliable for analysis.

Most static meters allow the pulse weight to be reconfigured via software, while modern mechanical meters equipped with incremental inductive encoders often support interchangeable pulse modules with different pulse weight resolutions, enabling optimization for specific operational needs.

PULSE INTERVAL TIME BASED (PIT) INTERFACE

Historically, the use of PIT (Pulse Interval Time) mode was driven by the limitations of memory capacity and data transmission bandwidth. In this mode, the logger records the time interval between two successive pulses and calculates the corresponding flow rate. Unlike conventional fixed-interval logging, there are no predefined recording periods; instead, the timing of each pulse determines the data capture points.

The main advantage of PIT is its efficiency in scenarios where flow is very low or intermittent. For example, in residential metering applications, if the meter remains stopped for long periods (such as at night), only minimal data needs to be stored and transmitted. Conversely, if short-term, very high flow rates occur, PIT captures these peaks accurately, as each pulse is individually timed.

In DMA monitoring, flows are usually continuous, and the primary focus is on maintaining synchronized datasets across multiple meters and loggers, however PIT can be very useful in small DMAs with low flows to provide a more accurate calculation of MNF. In some loggers it is possible to log both PIV and PIT in separate channels and transmit this data to the servers for further analysis.

4-20 MA INTERFACE – SOURCING VS. SINKING

The 4–20 mA analogue signal is a long-established standard in industrial instrumentation for transmitting measurement data. In flow metering, it is used to represent the flow rate as a proportional current signal. For example, 4 mA might correspond to the minimum flow (e.g., 0

m³/h) and 20 mA to the maximum flow (e.g., 100 m³/h). The data logger reads this current, converts it into a flow rate, and can then calculate cumulative consumption.

Two electrical configurations are common:

- ◆ Sourcing mode: The meter supplies the current loop to the logger.
- ◆ Sinking mode: The logger supplies the current loop to the meter.

In both cases, the continuous nature of the current loop presents a significant power demand. For battery-powered meters or data loggers, this results in severely reduced battery life, making the method impractical for long-term field deployments. Consequently, the 4–20 mA interface is generally limited to production meters or other applications where mains power is available.

Some data loggers address this limitation by sampling the current loop only at set intervals rather than continuously. However, this approach eliminates the main advantage of the 4–20 mA method—permanent, real-time monitoring—and in such cases, a PIV (Pulse Interval Volume) interface would usually be the more efficient and effective option.

WIRED SERIAL PROTOCOL BASED INTERFACES

A variety of wired communication protocols are available for connecting flow meters to SCADA systems, PLCs, and data loggers. Their suitability depends heavily on power availability, data resolution requirements, and system integration capabilities.

Modbus (RTU/ASCII over RS-485 or RS-232)

Modbus is a widely used, open protocol, common in SCADA, PLC, and industrial metering applications.

- ◆ **Pros:** Broad industry support, open standard, simple and robust design, reliable over RS-485 for multi-drop networks.
- ◆ **Cons:** No built-in security, limited to master–slave architecture, requires protocol knowledge for proper integration, relatively high-power consumption.

HART (Highway Addressable Remote Transducer)

HART allows both analogue and digital communication over a standard 4–20 mA current loop, typically used in process industries and mostly available for production-grade meters.

- ◆ **Pros:** Can overlay digital data on existing analogue wiring, widely adopted in process control environments.
- ◆ **Cons:** Slow communication rates, relatively high-power consumption, impractical for battery-powered long-term deployments.

M-Bus (Meter-Bus, EN 13757 standard)

Designed specifically for metering, M-Bus supports large multi-device networks and long cable runs.

- ◆ **Pros:** Purpose-built for metering, supports up to 250 devices, low power consumption compared to other industrial protocols, capable of transmitting the actual meter index, suitable for cable lengths up to 1 km.
- ◆ **Cons:** Less common outside European markets, less suited for applications requiring high flow rate logging or very short intervals, higher power demand than simple pulse-based interfaces.

For battery-powered DMA flow monitoring requiring multi-year operation, neither Modbus nor HART are commonly used due to their relatively high energy demand. In these cases, wired M-Bus maybe better suited. However, their adoption can be limited by the availability of compatible data loggers and local market support.

In production metering or at reservoir locations where mains power is available, these higher-power protocols can be implemented effectively. In such cases, the main challenge often shifts from hardware constraints to head-end system integration, particularly when managing diverse datasets and multiple communication protocols.

CONNECTING TWO DATA LOGGERS TO THE SAME OUTPUT

If the data logger is connected to the meter through a volt-free “open collector” contact—also commonly called a pulse output—it is possible to share the same output signal with two separate data loggers by using a pulse splitter box.

A pulse output works like a simple electrical switch inside the meter that closes and opens in proportion to the volume of water passing through it. Each time the switch changes state, it sends a “pulse” signal representing a fixed volume of water (for example, 1 pulse = 1 litre). A volt-free or “open collector” design means that the signal is electrically isolated from the meter’s own power system, making it safe and compatible with different logging devices.

By installing a pulse splitter, the signal from the meter can be sent to two different logging systems at the same time. The exact technical specifications—such as voltage, current limits, and pulse duration—must be confirmed for both the meter and the data loggers to ensure compatibility and avoid signal errors.

This setup is particularly useful when the water consumption data needs to be used for two different purposes. For example:

- ◆ Logger channel one could be connected to the SCADA system, recording data at a standard interval such as every 15 minutes for operational monitoring.
- ◆ Logger channel two could be configured for fast logging at 1-minute intervals, sending the data to specialized NRW analysis software to allow more accurate MNF assessment.

By combining both, utilities can maintain a consistent operational record in SCADA while also capturing the high-resolution data needed for advanced leakage analysis and network diagnostics.

APPENDIX C ASSESSMENT OF UNCERTAINTY BUDGETS

G. Waley

In addition to Chapter 3, this Appendix provides a more detailed assessment of uncertainty budgets associated with primary measured data (electromagnetic, ultrasonic and mechanical flow meters, and pressure measurements), as well as with derived parameters such as water balance calculations and MNF estimation methods.

PRIMARY MEASUREMENT UNCERTAINTY

FLOW MEASUREMENT UNCERTAINTY

Flow measurement uncertainty varies significantly with meter technology, installation conditions, and operating point within the meter's range.

Electromagnetic Flow Meters

Electromagnetic meters typically exhibit accuracy specifications of $\pm 0.2\%$ to $\pm 0.5\%$ of reading, with additional zero-stability specifications. The standard uncertainty comprises multiple components:

Meter Accuracy: Manufacturer accuracy class converted to standard uncertainty. For a specified accuracy of $\pm a\%$ at 95% confidence (coverage factor $k = 2$):

$$U_{\text{accuracy}} = (a/100) \times Q / 2$$

where Q represents the measured flow rate.

Zero Stability: Drift in zero reading affects absolute uncertainty, particularly significant at low flows. Zero stability specifications typically range from ± 0.5 to ± 2 mm/s velocity equivalent. Converting to volumetric uncertainty:

$$U_{\text{zero}} = v_{\text{zero}} \times A / \sqrt{3}$$

where v_{zero} is the zero-stability specification and A is the pipe cross-sectional area. Division by $\sqrt{3}$ assumes rectangular probability distribution.

Installation Effects: Non-ideal installation (insufficient straight pipe lengths, eccentric mounting, flow disturbances) introduces additional uncertainty. Conservative estimates suggest 1-3% additional uncertainty for partially compliant installations:

$$U_{\text{installation}} = 0.01 \text{ to } 0.03 \times Q / \sqrt{3}$$

Temperature Effects: Operating temperature deviation from calibration conditions affects measurement accuracy. Typical temperature coefficients range from 0.1% to 0.2% per 10°C:

$$u_{\text{temperature}} = \alpha_T \times \Delta T \times Q / \sqrt{3}$$

where α_T is the temperature coefficient and ΔT is temperature deviation.

Ultrasonic Flow Meters

Transit-time ultrasonic meters demonstrate similar accuracy specifications but with distinct uncertainty characteristics:

Path Configuration: Multi-path configurations (2, 4, or 8 acoustic paths) reduce uncertainty compared to single-path installations. Single-path uncertainty typically ranges from $\pm 1\%$ to $\pm 2\%$, while four-path configurations achieve $\pm 0.5\%$.

Signal Quality: Degraded signal-to-noise ratio from pipe conditions increases uncertainty. Signal strength monitoring enables adaptive uncertainty quantification:

$$u_{\text{signal}} = f(\text{SNR}) \times Q$$

where $f(\text{SNR})$ represents an empirically determined function relating signal quality to measurement uncertainty.

Reynolds Number Effects: At low Reynolds numbers ($< 10,000$), velocity profile assumptions become less accurate, increasing uncertainty. Flow-dependent uncertainty functions should reflect this behavior:

$$u_{Q(\text{Re})} = u_{\text{base}} \times [1 + \beta \times \exp(-\text{Re}/\text{Re}_0)]$$

where β and Re_0 are empirically determined profile sensitivity parameters.

Mechanical Meters

Turbine meters exhibit non-linear uncertainty characteristics strongly dependent on flow rate relative to capacity:

Rated Accuracy Zone: Within the optimal flow range (typically 30-100% of Q_{max}), manufacturer accuracy specifications apply directly.

Low Flow Degradation: Below 30% of rated capacity, uncertainty increases substantially. Empirical characterization requires:

$$u_{Q(q)} = u_{\text{nominal}} / [1 - \exp(-q/q_{\text{threshold}})]$$

where $q = Q/Q_{\text{max}}$ is the normalized flow rate and $q_{\text{threshold}}$ represents the onset of degraded performance.

Wear Effects: Mechanical wear progressively degrades accuracy. Time-since-installation should factor into uncertainty assessment:

$$u_{\text{wear}(t)} = k_{\text{wear}} \times \sqrt{t} \times Q$$

where k_{wear} represents an empirically determined wear coefficient.

PRESSURE MEASUREMENT UNCERTAINTY

Pressure transducer uncertainty typically ranges from $\pm 0.1\%$ to $\pm 0.25\%$ of full scale, requiring careful consideration of installed range versus measurement range.

Full-Scale Referenced Uncertainty

Manufacturer accuracy specifications referenced to full scale result in absolute uncertainty independent of measured value:

$$u_{P,base} = (a_{FS}/100) \times P_{FS} / 2$$

where a_{FS} is the accuracy class as percentage of full scale and P_{FS} is the maximum rated pressure.

This creates proportionally higher relative uncertainty at lower pressures. For pressure measurements at 10% of full scale, relative uncertainty increases tenfold compared to full-scale measurements.

Temperature Compensation Uncertainty

Temperature-compensated transducers introduce additional uncertainty from compensation algorithm imperfection:

$$u_{temp,comp} = u_{compensation} \times |\Delta T| / \sqrt{3}$$

where $u_{compensation}$ represents residual temperature coefficient after compensation (typically 0.01-0.05% FS per °C).

Long-Term Stability

Pressure sensor drift over time contributes to uncertainty between calibration events:

$$u_{drift(t)} = d_{annual} \times \sqrt{(t/12)} / \sqrt{3}$$

where d_{annual} is the annual drift specification (typically 0.1-0.25% FS/year) and t is time in months since calibration.

Combined Pressure Uncertainty

$$u_P = \sqrt{(u_{P,base}^2 + u_{temp,comp}^2 + u_{drift}^2 + u_{calibration}^2)}$$

TEMPORAL RESOLUTION AND INTEGRATION UNCERTAINTY

Time-series integration for cumulative volumes introduces additional uncertainty components:

Sampling Interval Effects: Discrete sampling at interval Δt approximates continuous integration. For signals with characteristic frequency f_{char} , the integration uncertainty is approximately:

$$u_{sampling} \approx 0.1 \times Q_{variation} \times \sqrt{(\Delta t \times f_{char})}$$

where $Q_{variation}$ represents the standard deviation of flow variation.

Data Gap Interpolation: Missing data periods require interpolation, introducing uncertainty proportional to gap duration and flow variability:

$$u_{\text{gap}} = \sigma_Q \times \sqrt{(t_{\text{gap}}/t_{\text{ref}})}$$

where σ_Q is the standard deviation of flow during similar periods and t_{ref} is a reference averaging period.

DERIVED PARAMETER UNCERTAINTY

WATER BALANCE COMPONENT UNCERTAINTY

A volumetric water balance is an arithmetic subtraction of water demand components from the water supplied into the DMA, using daily volumes, and calculating water loss as a balancing item. It is commonly referred to as a “top-down” water loss calculation as described in Section 4.2.2.

For water losses (real or apparent) to be derived as the balancing item in the water balance all of the components of water use need to be identified for them to be measured or estimated. Also, the timeframe for conducting the balance is important. The following 3 overarching factors drive the uncertainty in the top-down water balance water loss calculation:

Measurement Uncertainty

The measurement uncertainty will be from a combination of the following factors which have already been set out in this document within the Uncertainty Budget Structure section above. The overall aggregated uncertainty can be quantified from these factors stated below.

- ◆ **Instrument Measurement Uncertainty** including the data acquisition steps of the workflow.
- ◆ **Instrument Calibration Uncertainty** e.g. extent and age of calibration.
- ◆ **Instrument Installation Uncertainty** including dimensions and condition of surfaces and sensors.
- ◆ **Temporal Uncertainty** from sampling intervals, interpolation and alignment.
- ◆ **Model Uncertainty** in applied computations.
- ◆ **Operational Uncertainty** related to system state variability and boundary condition definition.

Estimation Uncertainty

The estimation uncertainty will be determined by the input data and methodology used to make the estimation. The estimation could rely on extrapolation, a sampling approach (limited in scope or highly statistically significant), engineering judgement, benchmarking, previous experience or guess work. By definition the uncertainty of the estimated range cannot be known. Therefore, an engineering judgement is likely to be required to qualify the estimation uncertainty into a value. The lower the penetration of customer metering the higher the reliance on estimates.

Timeframe Uncertainty

Water balance period – at a minimum 9 days of DMA flows, including 2 weekends, is an absolute minimum duration to target. However ideally the timeframe for the DMA analysis will align with available meter reads to reduce interpolation errors. This may extend the period to several months. When this isn't possible then temporal uncertainty from interpolation will need to be accounted for.

This period allows volume averages to be built up establishing a stable set of conditions and observation in the difference between weekdays and weekends. This assists in letting random errors play out, outlier errors to be identified as such, periods of instability to be identified and quarantined, and global allowances to be more confidently applied to the average situation over a number of days.

Overall Water Balance Uncertainty

The “top-down” water balance water loss calculation is an arithmetic subtraction from the water supplied into the DMA. The overall uncertainty calculation is aggregated using a Root-Sum-Square (RSS).

This method can provide the best certainty for evaluating absolute leakage volumes over time periods of weeks or months. By extension this source of leakage volumes is often preferred for reporting leakage volumes and inputting to the evaluation of leakage performance indicators (PI). Where this may not be the case is when customer meter penetration is very low. The efficacy of the reported leakage volumes comes down to the management and mitigation of the uncertainty factors.

MINIMUM NIGHT FLOW UNCERTAINTY

The MNF water loss calculation is an analysis of the water supplied into a DMA during the period of lowest customer water use as described in Section 4.2.3. This period, typically 2-4am in many residential areas, is chosen for analysis as any water loss present in the DMA will be at its highest proportion of the DMA flow - an attribute which assists in the identification of excess flow as water loss. It is commonly referred to as a “bottom-up” water loss calculation.

In one respect the MNF benefits from a simpler calculation as the analysis window can have less demand components due to minimal active water users being present within the analysis period. However, the MNF analysis is highly sensitive to several factors:

- ◆ Accurate data acquisition of the true minimum DMA net flow.
- ◆ Modelling of night use to represent the segments of the customer base.
- ◆ Identification and quantification of all users including Exceptional Night Use (ENU).
- ◆ Measuring and accounting for the impact of diurnal pressure profiles .

The inclusion of pressure profiles, and effects on leakage flow, is a notable source of additional uncertainty within the MNF algorithm compared to the top-down approach. Pressure contributes in two ways to each specific DMA;

- ◆ How much the average pressure within the zone changes from day-night (i.e. high demand – low demand) due to head losses.
- ◆ The pressure-leakage relationship which is the response of the individual leak flow paths to the pressure in the zone as described by the fixed and variable area discharge (FAVAD) relationship.

For volumetric water loss to be derived from a MNF analysis the DMA net-flow needs to be measured, all components of night water use need to be measured or estimated, the Average Zone Pressure (AZP) recorded, and the pressure-leakage relationship accounted for. There are now five over-arching factors driving the uncertainty in the MNF water loss calculation:

Measurement Uncertainty

The measurement uncertainty will be from a combination of the factors which have already been set out in this document within the Uncertainty Budget Structure section.

Estimation Uncertainty

The lower the penetration of customer metering in the DMA the higher the reliance on estimates. The mature way to produce night use (NU) estimates is from models which take customer segment and annual billed volume (ABV) and relate these to NU. Then NU allowances become available for all customers even if they are not metered or logged.

The uncertainty of the night-time use model outputs, at the DMA level, rests on the following factors:

- ◆ statistical significance of the measured input data
- ◆ strata applied to produce customer segments
- ◆ extent of unmetered customers and unlogged ENUs present in the DMA
- ◆ local water uses behaviors of the unmetered/unlogged customers when compared to the average water use behaviors of their respective customer segments.

Day-Night Factor Uncertainty

The diurnal pressure profile needs to be understood and applied to the evaluated nighttime leakage, as a factor, in order to derive a 24-hour leakage volume from the nighttime leakage flow rate calculated during the MNF period. This is called the night-day factor (NDF).

This part in the MNF algorithm is crucial because it accounts for when the pressure, and hence leakage flow rate, varies from day to night. In many gravity fed zones the network pressure at night is at a maximum resulting in a maximum leakage flow rate. This however doesn't hold in the case where there is active pressure management or booster pumping. In the process of translating night-time leakage into 24-hour leakage the following uncertainty factors arise:

- ◆ Successful measurement (or estimation) of the average zone pressure (AZP) and the average zone night pressure (AZNP)
- ◆ Selection of the day-time timeframe and the night-time timeframe

Pressure-Leakage Relationship Uncertainty

- ◆ The pressure-leakage relationship is how the flow rate of a leak path varies in relation to changes in pressure. This is an important factor because leak orifice areas are not always fixed as pressure varies. The obvious example being a longitudinal split in a plastic pipe where the orifice will increase in size when pressure increases. Furthermore, the behavior of multiple background leak paths across multiple pipe material types responds differently to pressure than a hole in a ductile iron pipe.
- ◆ The pressure-leakage relationship is described by the fixed and variable area discharge (FAVAD) power law shown below

- ◆
$$L_1 = L_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{n_1}$$
 where

L_1 - leakage flow at pressure 1 (future leakage rate)

L_0 - leakage flow at pressure 0 (current leakage rate)

P_1 - pressure 1 (pressure changes may come about from e.g. re-zoning, pressure management, mains rehabilitation)

P_0 - pressure 0

n_1 - Power law exponent (varies between 0.5 and 2.5)

Uncertainty arises dependent on how well the variables are measured or estimated.

Timeframe or Temporal Uncertainty

The MNF analysis needs to be supported by metered data which has been collected at minute or hourly sampling rates. If using industry, or company, norms as allowances then the selected DMA net-flow sampling rate will need to match that intended for use with the night-use allowances e.g. 1min, 5min, 15min. Note: UK allowances are based on 15min sampling rate.

MNF analysis period – Night to night analysis for immediate reactive leakage targeting. Times of the year which coincide with cultural habit changes e.g. Christmas, New Year or Ramadan should be avoided.

Overall MNF Analysis Uncertainty

The MNF analysis water loss calculation is approach which is quick to reveal changes in leakage rates and is an algorithm which translates the water loss from the period of minimum water use to a 24-hour leakage volume for the DMA. The overall uncertainty calculation is an aggregation using a root-sum-square (RSS). The combining of uncertainties for MNF analysis has to ingest both pressure and volume variables. The FAVAD element of the leakage-pressure relationship has a variable exponent n_1 in the power law.

Note: MNF analysis requires higher sampling rates than the top-down approach.

Whilst the MNF analysis can have a higher absolute uncertainty for calculating 24 hour leakage, it can provide a much lower uncertainty when monitoring relative leakage changes night to night. This is because a lot of the uncertainty factors can manifest in the same way each night, creating repeatable systematic bias, which provides a clear signal from the relative leakage changes.

APPENDIX D USING HYDRAULIC MODELS TO ESTIMATE DMA WATER LOSSES

A. Bojko, I. Dundovic, M. Nicol, F. van de Hulst

Hydraulic modelling is a powerful tool for the design, analysis, and management of water distribution networks, particularly in the context of DMAs. A calibrated model enables utilities to estimate real losses, understand operational behavior, and evaluate strategies for reducing Non-Revenue Water (NRW). Once calibrated, the model can help estimate real and apparent losses within the DMA.

WATER LOSS DETECTION USING HYDRAULIC MODELS

The following mechanisms are common for water loss detection using hydraulic models of DMA:

Flow and Pressure Discrepancy Analysis

By comparing simulated flow and pressure values with observed data from field sensors (e.g., flow meters and pressure gauges), hydraulic models can identify anomalies such as unexpected pressure drops or unexplained flow increases. These discrepancies often point to leaks or unauthorized water usage within the network. For example, nocturnal flow analysis, where consumption is expected to be minimal, helps isolate areas with higher-than-expected flows attributed to leaks.

Leakage Modelling and Pressure-Leakage Relationships

Hydraulic models incorporate pressure-leakage relationships to simulate how changes in pressure impact leakage rates. Empirical equations, such as the Orifice Equation, are used to model leaks as a function of pipe pressure and leak characteristics. Higher pressures typically exacerbate leakage, and hydraulic models can simulate scenarios to determine thresholds for pressure management aimed at reducing losses (Lambert, 2001).

Precise Estimation of AZP

Pressure data within a DMA is often limited to permanent sensors installed at the inlet and at a critical point, or to short-term measurement campaigns. The most accurate estimation of the Average Zone Pressure (AZP) can be obtained from a calibrated hydraulic model of the DMA, where pressures are simulated across all nodes and time steps. This significantly improves the accuracy of water loss estimation, which is highly sensitive to the precision of AZP, as discussed in Chapter 4.

Validating DMA Flow Components

The hydraulic model can be effectively used to validate the different DMA demand components, including physical losses (leakage flow and patterns), apparent losses, and night consumption. Demand allocation in the model typically includes the spatial distribution of billed consumption with associated diurnal profiles, leakage rates and patterns, and apparent losses estimated using the formulas presented in Section 4.2.3. Once all components are incorporated, the simulated total DMA inflow is compared with the measured flow at the DMA entry. Any

discrepancy in magnitude or profile highlights potential inaccuracies in the estimated components and supports their refinement.

DMA Analysis

Hydraulic models simulate the expected consumption and pressure patterns within DMAs based on demand data, network topology, and recorded measurements. Any discrepancies between modelled and measured values within a DMA can localize potential leak zones for further investigation.

Inverse Modelling for Leak Detection

Inverse modelling techniques use hydraulic models to estimate the location and magnitude of leaks by optimizing model parameters to match observed data. This approach often employs advanced computational algorithms, such as genetic algorithms or artificial neural networks, to refine leak estimates.

Scenario Testing for Loss Reduction Strategies

Hydraulic models allow scenario testing of interventions, such as pressure management, pipe replacement, or valve adjustments, to evaluate their effectiveness in reducing water losses. By simulating these scenarios, utilities can prioritize actions based on cost-benefit analyses and operational feasibility.

CALIBRATION PROCESS

Calibration serves as the critical link between mathematical simulation and physical reality. This process involves:

- ◆ Systematic comparison of model predictions against field measurements
- ◆ Identification of discrepancies between simulated and observed values
- ◆ Targeted adjustment of model parameters to achieve acceptable agreement
- ◆ Validation of calibrated parameters across various operating conditions

This iterative methodology requires both technical expertise and structured approach to ensure the resulting model accurately represents network behavior under both steady-state and dynamic conditions.

An important remark on calibration is that the current network structure is not changed. So, to start a calibration process it is important to have all pipes, valves and pumps correctly identified and documented in the hydraulic model. Also pressure monitoring and consumptions parameters is invaluable to document correctly.



Pressure monitoring locations should be selected to provide comprehensive coverage of pressure zones, elevation variations, and known hydraulic constraints.

REQUIRED DATA FOR CALIBRATION

Pressure measurements constitute the primary calibration dataset. Quality pressure data acquisition requires strategic deployment of pressure sensors. Pressure sensors can be placed best on points with high observability, i.e. where pressure transducers can best represent the unmeasured points in regard of the hydraulic equations.

Flow measurements complement pressure data by quantifying water movement through the system:

TABLE D-1 Typical measurement types in DMAs.

Measurement Type	Typical Range	Recommended Accuracy
Inlet Transfer Flows	10-1000 l/s	±2%
Consumption Patterns	0.1-100 l/s	±5%
Fire Flow Testing	20-40 l/s	±5%

Flow measurements should be collected at boundary points, major trunk mains, DMA interfaces, and representative consumption points.

CALIBRATION PARAMETERS AND SENSITIVITIES

The calibration process typically focuses on adjusting several key parameters with varying degrees of influence on model behavior. The Table below summarizes these parameters and their typical sensitivity impacts:

TABLE D-2 DMA calibration parameters and their sensitivity.

Parameter Category	Sensitivity Impact
Pipe Roughness Coefficients (C-factor or k)	High
Minor Loss Coefficients	Medium-Low
Demand Allocation Factors	High
Control Element Settings	High (localized)
Network Connectivity	Very High (localized)

Calibration efforts should prioritize parameters with high sensitivity values. Adjusting parameters with low sensitivity may mask actual network conditions without improving model accuracy.

AUTOMATED CALIBRATION PROCESS

Contemporary hydraulic modelling platforms incorporate sophisticated automated calibration functionality to synchronize model outputs with field measurements. These systems algorithmically adjust critical parameters including pipe roughness coefficients, demand allocation factors, and control element settings to minimize discrepancies between simulated and observed hydraulic behaviors. The calibration process employs advanced optimization techniques including genetic algorithms, differential evolution, particle swarm optimization, and Bayesian statistical methods.

The automated calibration process typically follows these steps:

- ◆ Import field measurement data (pressure readings, flow rates, etc.)
- ◆ Define calibration parameters and their acceptable ranges
- ◆ Group elements with similar characteristics (by age, material, zone)
- ◆ Set optimization criteria and error metrics
- ◆ Execute iterative simulation sequences
- ◆ Automatically adjust parameters to minimize differences
- ◆ Validate results across multiple operating conditions

Leading-edge platforms now integrate machine learning capabilities and surrogate modelling approaches to accelerate computational processes and facilitate adaptive calibration protocols with near-real-time responsiveness. Calibration outputs generally comprise prioritized parameter configurations, comprehensive error metrics, and diagnostic information for model reliability assessment.

An example is the Darwin Calibrator in Bentley's WaterGEMS uses genetic algorithms to find optimal combinations of roughness values, demand multipliers, and other parameters (Bentley Systems, 2025). The process imports field measurements, sets parameter boundaries, and runs multiple simulations to evolve better parameter combinations. It supports both steady-state and extended-period calibration, providing comprehensive validation capabilities. Effective use requires careful preparation of observational data, defensible parameter ranges, and logical grouping strategies (e.g., by pipe material or installation era). Though operating in batch mode rather than real-time, Darwin is valuable for initial configuration and periodic recalibration after field measurement campaigns.

APPLICATION OF HYDRAULIC MODELS

A properly calibrated hydraulic model supports numerous water utility functions without requiring disruptive field interventions. While detailed exploration of these applications falls outside our current scope, calibrated models enable:

- ◆ Network optimization and energy efficiency initiatives
- ◆ Pressure management planning and implementation
- ◆ Resilience assessment and contingency planning
- ◆ Water quality simulations and residence time analysis
- ◆ Capital improvement planning and infrastructure sizing
- ◆ Operational troubleshooting and anomaly detection
- ◆ Design and implementation of expansions of the network
- ◆ Regulation compliance simulation, such as minimal pressure requirements, or fire hydrant capacity.

The calibration effort should be tailored to support the intended applications, with more stringent calibration typically required for water quality modelling than for general hydraulic analysis.

APPENDIX E DMA PRESSURE ANALYSIS

T. Crowder

This Appendix examines the influence that pressure has on leakage, and at the end, we will demonstrate how applying pressure adjustments can correct the level of background losses in two example DMAs. It outlines the key principles and data requirements for effective pressure monitoring at Average Zone Points (AZPs). We introduce the concepts of Discreet Pressure Areas (DPAs), explaining their importance in DMA leakage calculations.

DISCREET PRESSURE AREAS

For DMA pressure analysis to be applied accurately, DPA residing at DMA level or below needs to be set up and configured appropriately with an AZP. There are three different scenarios to cater for in the setup of DPAs which are explained in the table below.

TABLE E-1 DMA Discreet Pressure Area Setup Scenarios.

DPA Scenario	DPA Description
Entire DMA	DMAs with no internal pressure managed areas, or those fully pressure managed at the inlet. In this case, the entire DMA functions as a single DPA.
Pressure Managed Area (PMA)	PMA's have pressure controlling assets at inlets which alter downstream pressure, such as pressure control valves, pumps or boosters, or service reservoirs. Each PMA forms its own DPA and therefore requires one AZP.
Residual Pressure Area (RPA)	The RPA represents portion of DMA that is not pressure managed but still sits alongside PMA's. Each RPA acts as a separate DPA and requires its own AZP.

FIGURE E-2 DMA Discreet Pressure Area Illustration.

Figure below shows an illustration of a DMA with 1,000 properties consisting of two PMA's and one Residual Pressure Area. In total, this DMA has three DPAs and therefore requires three AZPs to apply pressure analysis accurately.

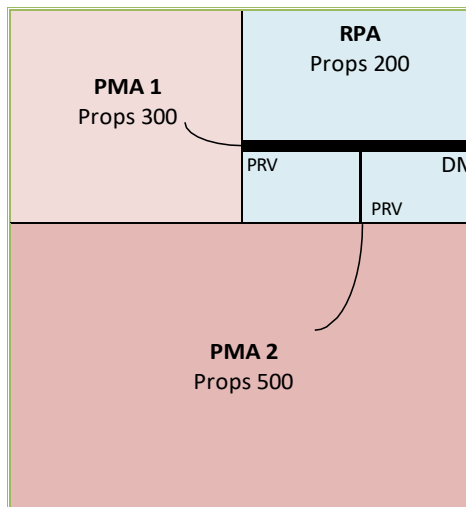


FIGURE E-2 DMA Discreet Pressure Area Illustration.

Continuous pressure monitoring across each DPA is essential to ensure that pressure remains within the required standards and to obtain key parameters used in adjusting DMA leakage calculations. In practice, pressure is typically measured at DPA inlets, high-point locations, and representative average zone points. An example of permanent pressure monitoring within a DPA is shown in the figure below:

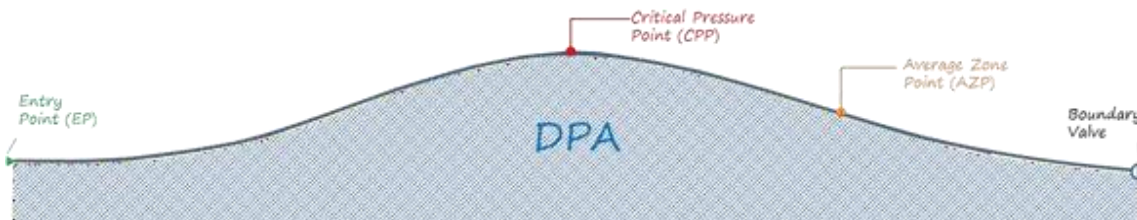


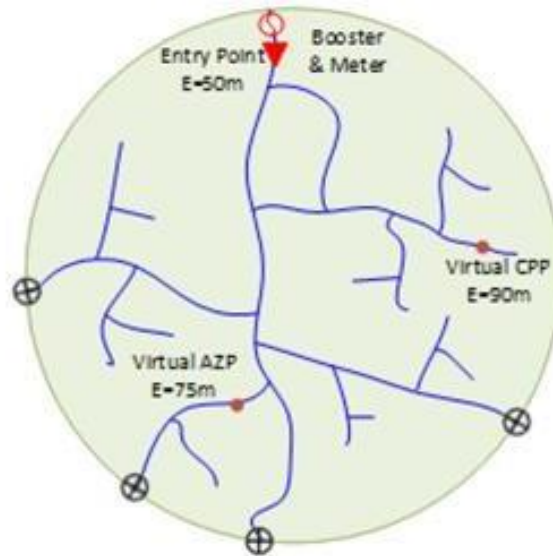
FIGURE E-3 DPA Pressure Monitoring Points Illustration.

USE OF SURROGATE PRESSURES

It is always preferable to directly monitor the AZP and Critical Pressure Point (CPP) within a DPA. However, where this is not possible, virtual AZPs and CPPs can be generated. The virtual AZP should be located at the average property height within the DPA and used to determine the average pressure, AZNP, and NDF. The virtual CPP should be located at the highest service connection elevation within the DPA and used to monitor the minimum level of service and assess the potential for pressure reduction.

Surrogate pressures are monitored by pressure sites within a DPA, such as Entry Points, that are associated with a virtual AZP and CPP. These sites provide pressure data from which pressures at a virtual AZP or CPP can be derived, based on differences in elevation and applying head loss coefficients, where available. Surrogate pressure sites must be located within the same DPA and should be prioritized based on their proximity to virtual AZPs and CPPs. Where available, monitored water levels on storage tanks may also be used as surrogate measurements and associated with downstream virtual pressure points.

Figure in continuation illustrates a DPA comprising an entire DMA in which the actual AZP and CPP are not directly monitored. In this example, the entry point downstream of the booster station is pressure-monitored and used as the surrogate for both the generated virtual AZP and CPP. The elevations of each point and the corresponding minimum, average, and night pressures derived from the differences in elevation. This approach assumes zero head loss, such that the total head remains constant across all pressure measurement locations. In practice, head losses may occur and, where known, can be applied to adjust the differential pressure between the measured pressure point and the virtual locations. In the accompanying table, cells highlighted in green represent measured pressures, while cells highlighted in orange represent estimated pressures. Cells highlighted in dark orange indicate the key measurements required for leakage calculations and pressure management purposes



Pressure Point	Elevation (m)	Minimum Pressure (m)	Average Pressure (m)	Night Pressure (m)
Entry Point	50	60	65	70
Virtual AZP	75	35	40	45
Virtual CPP	90	20	25	30
Total Head		110	115	120

FIGURE E-4 Surrogate Pressures Illustration.

KEY PRESSURE CALCULATIONS FOR LEAKAGE ANALYSIS

Leakage within a DMA varies throughout the day in response to changes in pressure. This relationship is illustrated in the figure below, which shows how pressure, monitored at the AZP, directly influences the leakage profile. The figure also highlights key pressure parameters used in DMA leakage calculations, including average pressure and AZNP.



FIGURE E-5 AZP Pressure & Leakage Illustration.

With reference to this graphics, average pressure is defined as the arithmetic-mean of all pressure measurements recorded at the AZP over a 24-hour period, from midnight to midnight. Whilst AZNP is the corresponding pressure at the AZP at the time when the DMA Minimum Night Flow (MNF) occurs. For example, if the MNF is calculated as the average DMA net flow between

03:00 and 04:00, the AZNP would be the average pressure recorded at the AZP during the same time. Another key pressure calculation is the Night Day Factor (NDF), which is used to scale hourly night-time leakage to a daily leakage value that is representative of the full 24-hour period by adjusting the leakage using the ratio of AZNP to Average Pressure

When a DPA represents the entire DMA, these calculations are straightforward, as no aggregation is required. However, where a DMA contains multiple PMAs and RPAs, the key pressure calculations must first be determined at the AZP for each DPA and then aggregated to the DMA level using a weighted average.

Calculations below show the same example DMA with 1,000 properties, comprising two PMAs and one Residual Pressure Area. As shown, the Average Pressure, AZNP, and NDF have been calculated for each DPA within the DMA. These values have then been aggregated to the DMA level using a weighted average based on the number of properties in each DPA.

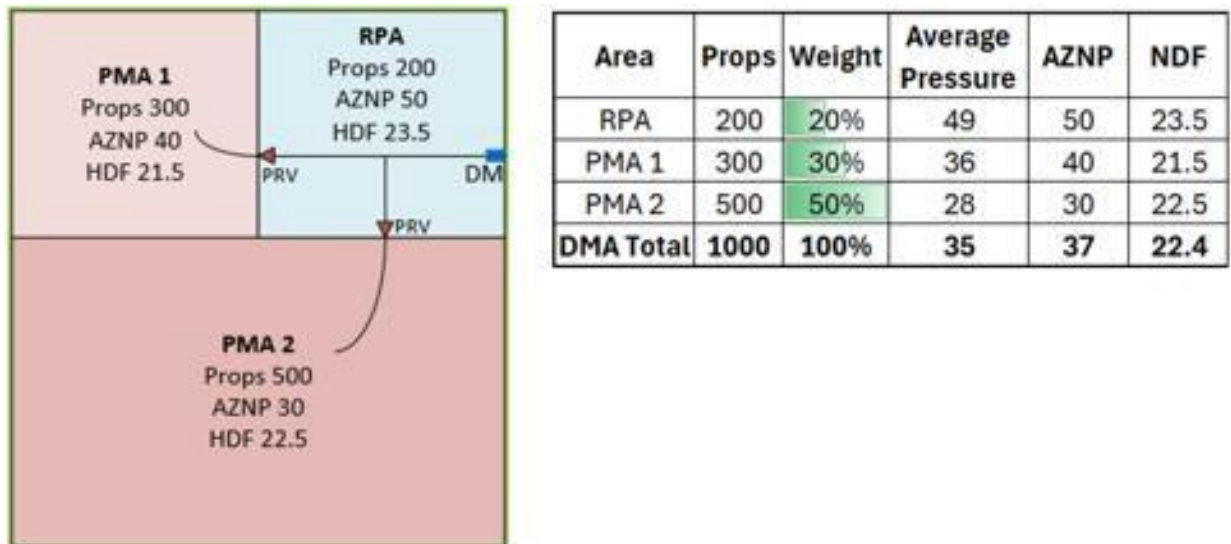


FIGURE E-6 Key Pressure Calculations Illustration.

PRESSURE LEAK FLOW RATES RELATIONSHIP (N1)

The N1 factor describes the relationship between pressure and leakage within a DMA. A higher N1 value indicates that existing leakage is more sensitive to changes in pressure. The N1 factor is expressed as a pressure exponent, as illustrated in the graph in continuation.

In this chart, the reduction in leakage resulting from a pressure reduction is shown in percentage terms. Three curves are presented, representing N1 exponent values of 0.5, 1.0, and 1.5. For example, where the N1 value for a DMA is 1.5, a 50% reduction in pressure results in an approximate 65% reduction in leakage. In contrast, when the N1 value is 0.5, the same 50% pressure reduction achieves only around a 30% reduction in leakage. This example highlights the significant influence of the N1 factor on DMA leakage and underscores the importance of understanding the relationship between pressure and leak flow rates.

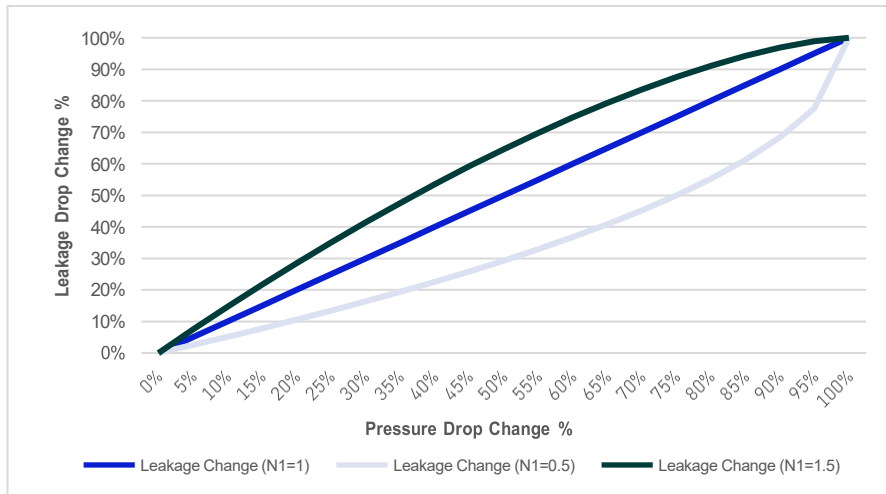


FIGURE E-7 Pressure Versus Leakage Illustration.

The N1 factor is DMA specific and depends on factors such as pipe material and the proportion of background versus burst leakage within the DMA. Ideally, each DMA should have its own accurately determined N1 factor, obtained through an N1 step test. During an N1 step test, pressure within the DMA is reduced in a series of controlled steps. The resulting pressure reductions, together with the corresponding changes in the DMA Net Flow, are then used to calculate the N1 factor.

The following table shows that N1 factors typically range between 0.5 and 1.5, depending on both pipe material and the type of leakage being assessed. For example, in DMAs with predominantly plastic pipes, an N1 factor of 1.5 can generally be assumed. Whilst in DMAs with mostly metallic pipes, the N1 is harder to gauge, as it can range between 0.5 and 1.5 depending upon the split between background leakage and burst leakage. Where a DMA contains a mix of pipe materials, a linear leakage and pressure relationship (N1 = 1) may be assumed until an N1 step test is undertaken to determine a more representative value.

TABLE E-1 N1 Factors for Metallic and Plastic Pipes.

Component	Metallic	Plastic
Background Leakage	1.5	1.5
Bursts Leakage	0.5	1.5
Overall Leakage Mixed Pipes	1.0	

Notably, for background leakage, pipe material is not a determining factor, and an N1 value of 1.5 may be assumed regardless of pipe type. In metallic and mixed DMAs, this can be interpreted that the closer the actual N1 value is to 1.5, the greater the proportion of leakage attributable to background leakage; conversely, lower N1 values indicate a higher proportion of burst related leakage. Carrying out an N1 step test to determine the actual N1 factor for a DMA improves the accuracy of the overall leakage calculation.

When the N1 factor is equal to 1, it has no impact on the NDF. However, when the N1 factor is less than 1, it increases the NDF and the calculated DMA daily leakage (real losses). Conversely, when the N1 factor is greater than 1, it reduces the NDF and the DMA real losses. This effect is illustrated in the following table, which shows the impact of different N1 factors on the NDF and

real losses. In the table, the night-time leakage is assumed to be 15 m³/hr and the baseline NDF is 22.45. Real Losses is calculated by multiplying the night-time leakage by the NDF.

TABLE E-1 Impact of N1 Factors on NDF & Real Losses.

N1	NDF	Real Losses (m ³ /day)	Potential Error
0.5	23.21	348	3%
0.6	23.06	346	3%
0.7	22.90	344	2%
0.8	22.75	341	1%
0.9	22.60	339	1%
1	22.45	337	0%
1.1	22.30	334	-1%
1.2	22.15	332	-1%
1.3	22.00	330	-2%
1.4	21.85	328	-3%
1.5	21.71	326	-3%

As shown in Error! Reference source not found., this example indicates that the error in the leakage calculation could be approximately ±3% due to the N1 factor. While this may not appear to be a significant concern in isolation, the potential error can be much greater in practice. When discrepancies across multiple DMAs are aggregated, they can result in a substantial overall discrepancy.

PRESSURE ADJUSTED BACKGROUND LOSSES

The Pressure Correction Factor (PCF) is used to adjust background losses to account for operating pressures. The flow rates applied assume an AZNP of 50m and an N1 value of 1; therefore, an adjustment is required to incorporate the DMA specific AZNP and N1 Factor.

The PCF is calculated as follows: $PCF = \left(\frac{AZNP}{50}\right)^{N1}$

Where the PCF is lower than 1 it will adjust the background losses down, conversely when the PCF is greater than 1 it will adjust the background losses upwards. In addition, we also need to apply to the DMA specific NDF to convert the night-time background losses to a daily volume.

The full formulae for calculating Background Losses, which can be applied to a DMA is:

$$BG\ Losses = ICF \times \left[\left(\frac{L_m}{m} \times F_m \right) + (N_c \times F_c) \right] \times \left(\frac{AZNP}{50} \right)^{n1} \times NDF$$

Table in continuation shows the background losses calculation for two DMAs, assuming an Infrastructure Condition Factor of 1 (average condition). Prior to applying any pressure adjustment, the background losses for the two DMAs were at a similar level. However, DMA 1 has a significantly higher AZNP than DMA 2 and, as a result, its background losses have been adjusted upwards. Conversely, the background losses for DMA 2 have been adjusted downwards.

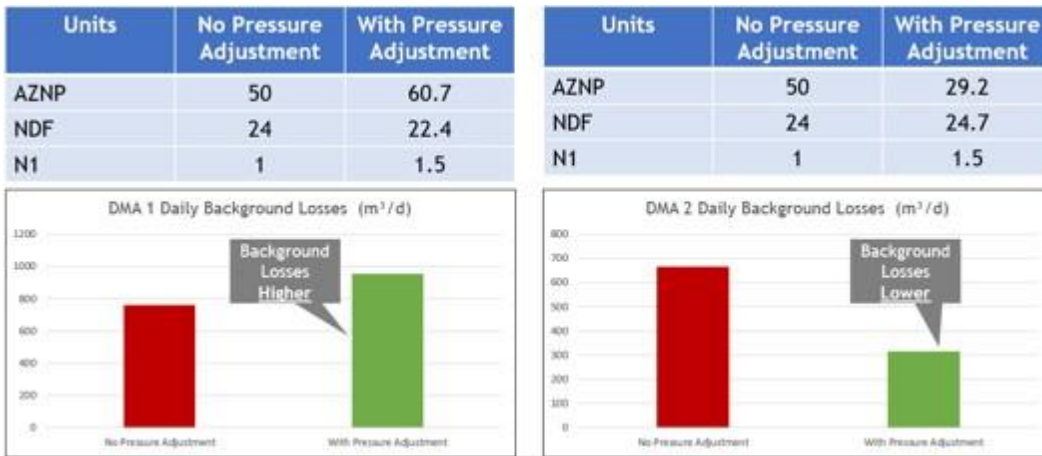


FIGURE E-8 Example Background Loss Calculation with Pressure Adjustment.

Example below shows the revised leakage opportunity (sometimes referred to as excess leakage) for the two example DMAs once all key pressure calculations have been applied and background losses and real losses have been recalculated with greater accuracy. As shown, DMA 1 exhibits significantly less excess leakage due to its higher background losses and slightly lower real losses. In contrast, DMA 2 shows greater excess leakage because of lower background losses and higher real losses. This demonstrates the importance of incorporating pressure adjusted background losses when prioritizing DMAs for leakage detection.



FIGURE E-9 Example DMA Leakage Opportunity After Pressure Adjustment.

APPENDIX F PRACTICAL EXAMPLES OF DMA DATA ISSUES

A. Bojko, K. Chwastek, T. Crowder

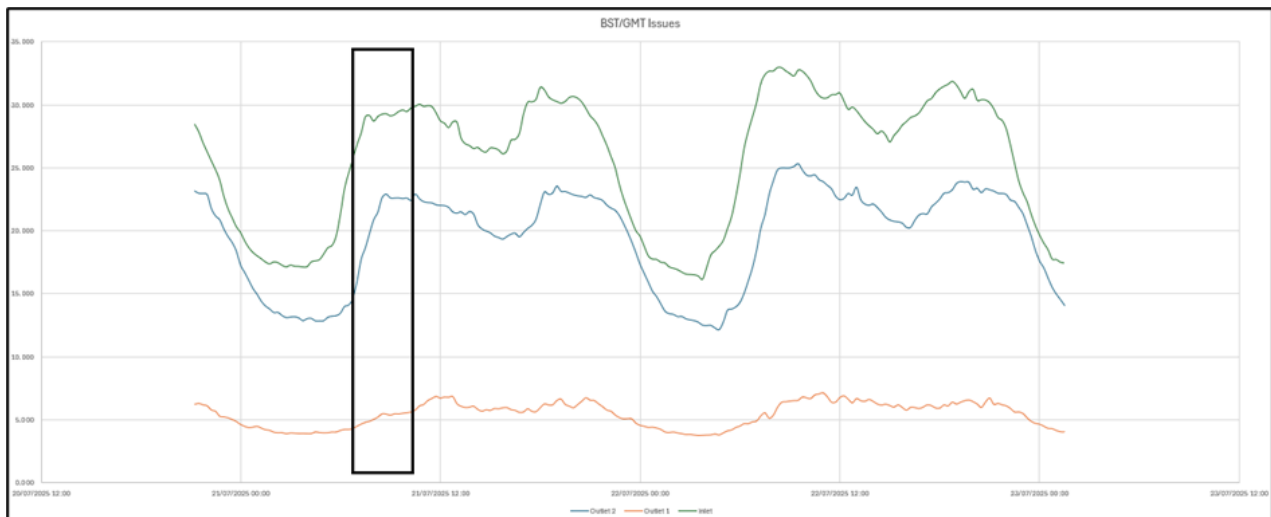
This appendix presents practical examples of the most common issues encountered in DMA data analysis. It highlights typical data inconsistencies, measurement errors and operational anomalies observed in real utility datasets and illustrates how these problems can affect the interpretation of DMA performance indicators.

TIME OFFSET ERROR

The synchronization of signal timing plays a pivotal role in the reliability of DMA MNF and leakage calculations.

In the example below, discrepancies between British Summer Time (BST) and Greenwich Mean Time (GMT) protocols caused inlet flow signal in a DMA to register approximately one hour earlier than their corresponding outlet flow measurements. This temporal misalignment skews net flow calculations ($\text{Net Flow} = \text{Inlet Flow} - \text{Outlet Flow}$) toward negative values.

The example illustrates how minor timing inconsistencies can significantly distort the net flow calculation. It underscores the necessity of precise signal arrival timing and consistent synchronization across all measurement points to ensure accurate MNF and leakage calculations.



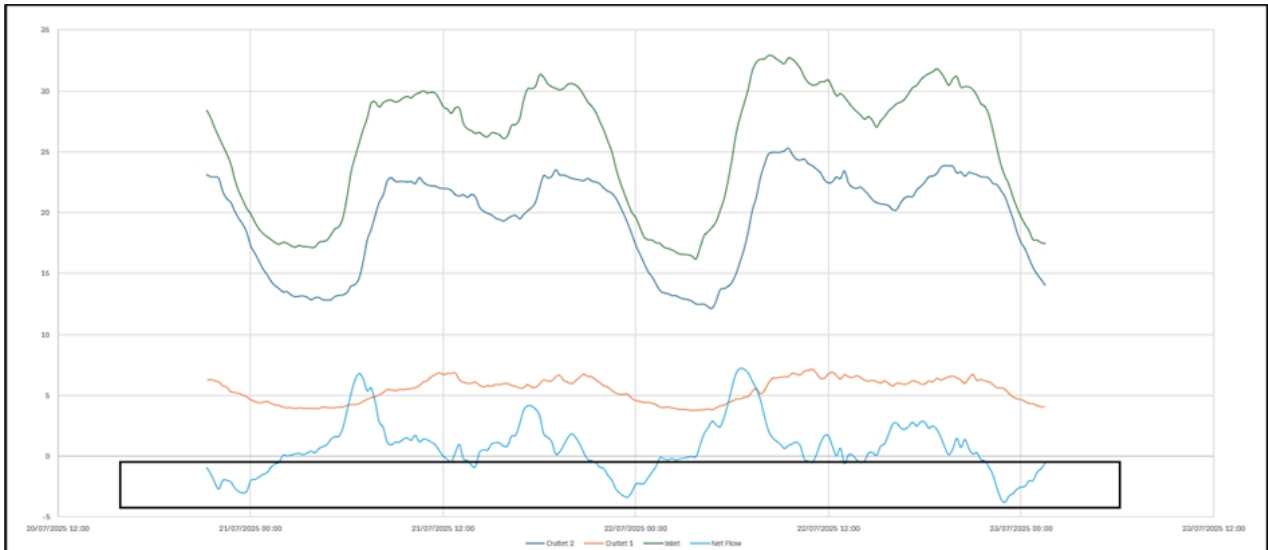


FIGURE F-10 Example of flow signal with time offset error.

UNITS ERROR

Another data quality problem in DMAs stems from scaling factor issues caused by incorrect unit assignments in the logger configuration.

As illustrated in the figure below, Flow 2 accurately reflects an average flow rate of 5.4 l/s. In contrast, Flow 1, despite measuring the same physical flow, reports an inflated average of 19.5 l/s due to misconfigured units. These scaling errors can significantly distort flow balance calculations, leading to inaccurate leakage assessments.

This issue can be resolved through systematic verification and correction of unit assignments in the data logger setup.

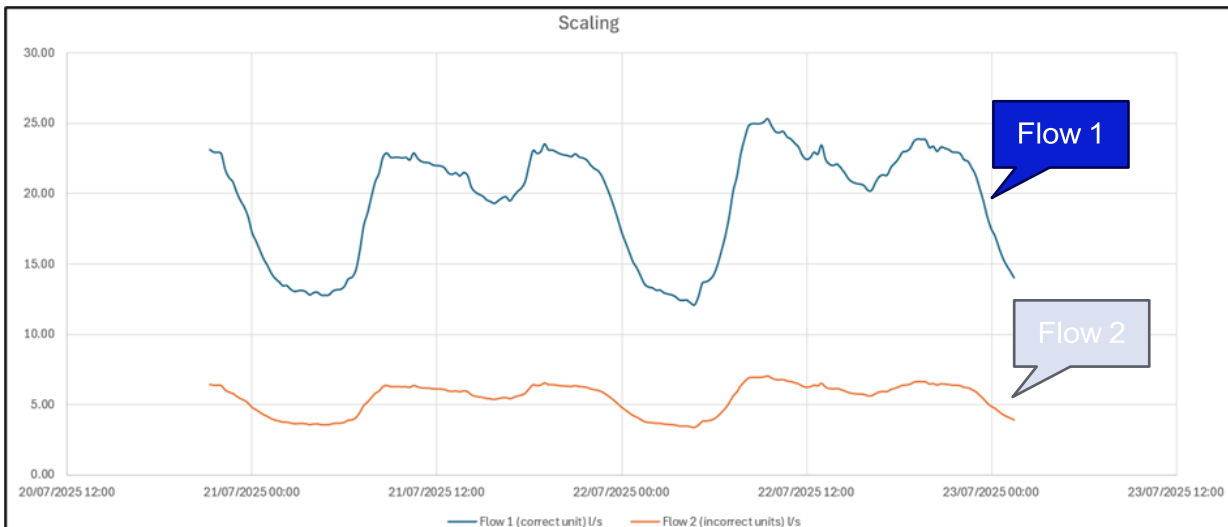


FIGURE F-11 Example of flow signal with a unit's error

The example below shows a DMA with a logger scaling factor error that was identified because the flow is much greater than the consumption data.

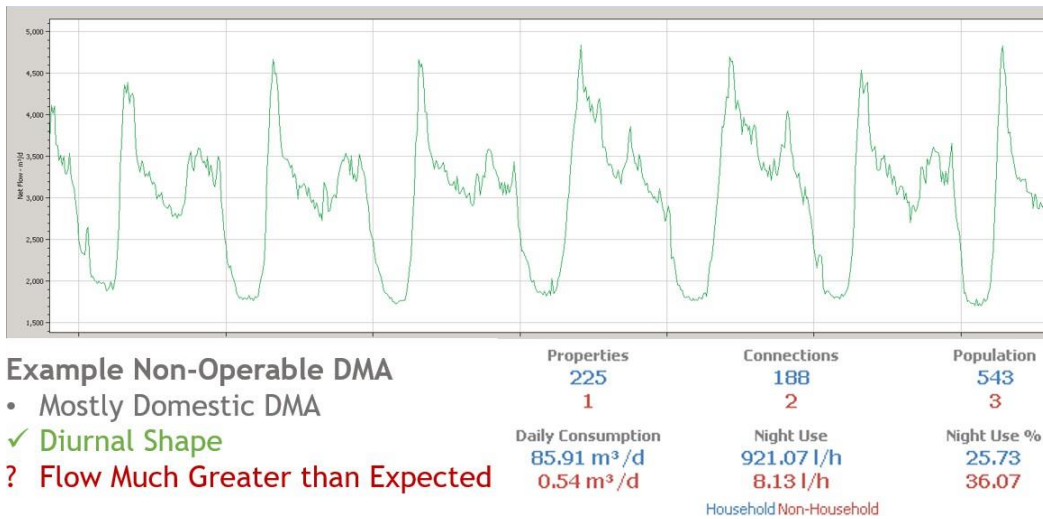


FIGURE F-12 Example of non-operable DMA with scaling factor error

METERING & LOGGER ERROR

Logger calibration and meter verification are critical for maintaining data quality and accurate flow measurement.

In the example below, a logger that should record an average flow of around 6.5 m³/d instead reports approximately 1,180 m³/d. This discrepancy underscores the need for continuous trend monitoring over extended periods to detect and correct measurement errors.

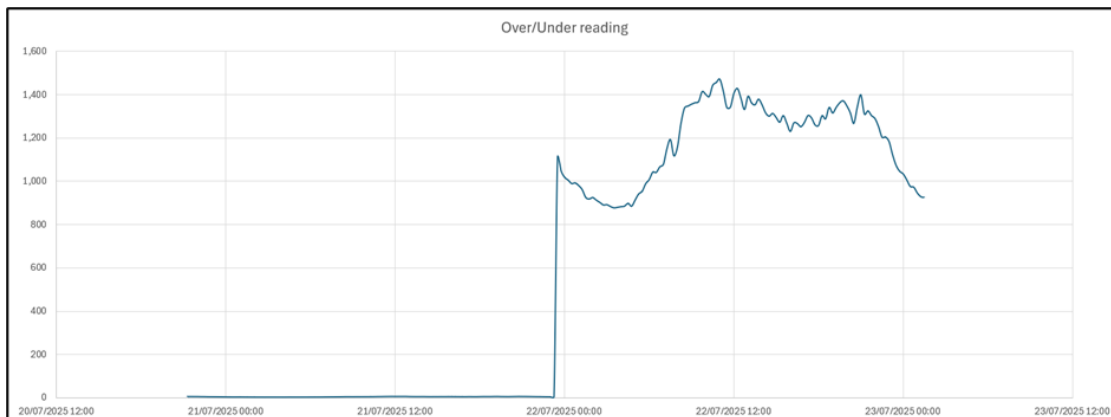
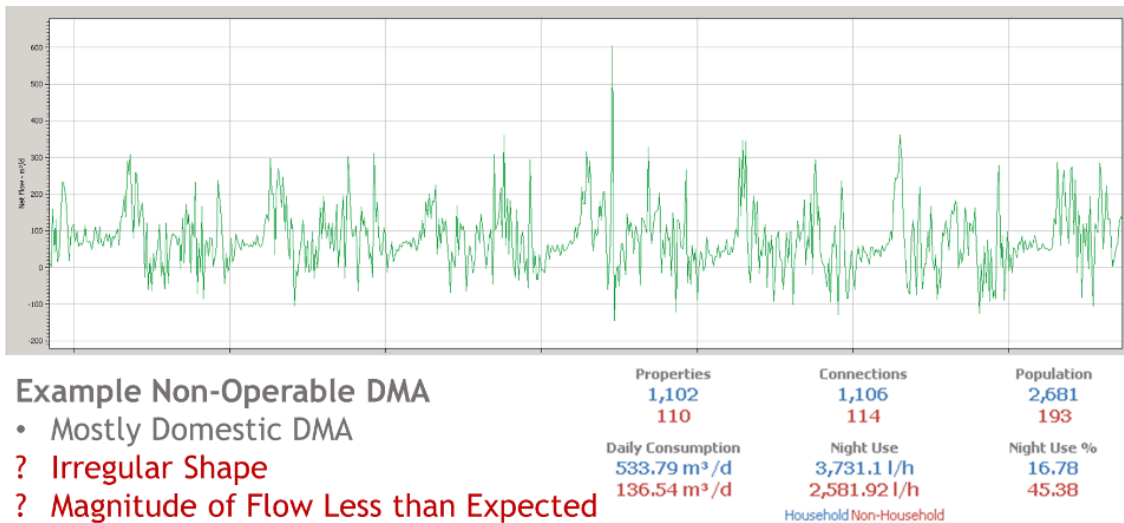


FIGURE F-13 Example of flow signal with a logger calibration problem

The example below shows a DMA with a metering issue causing the net flow to be inaccurate. Without being validated, the leakage in this DMA would be significantly underestimated.



Example Non-Operable DMA

- Mostly Domestic DMA
- ? Irregular Shape
- ? Magnitude of Flow Less than Expected

FIGURE F-14 Example of non-operable DMA with metering problem

METER CONFIGURATION ERROR

Accurate network configurations within telemetry systems are a critical factor in reliable leakage assessment.

The example below illustrates a storage reservoir with inlet and outlet meters located between two DMAs. The diurnal flow pattern shown on the graph indicates flow into the reservoir, rather than the expected outflow direction.

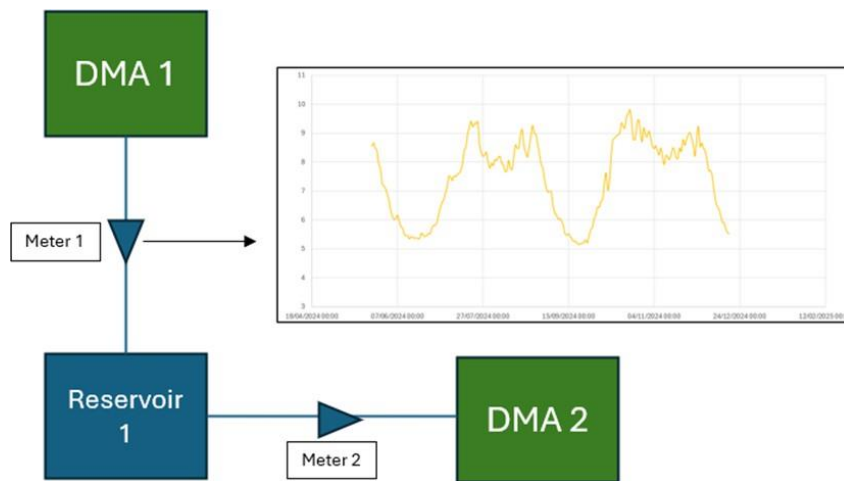


FIGURE F-15 Example of meter configuration of storage reservoir & DMAs

In this configuration, the inlet meter to the reservoir (Meter 1) should be assigned as the outlet from DMA 1, while the outlet meter from the reservoir (Meter 2) should be assigned as the inlet to DMA 2. It is essential that these assignments are correct, as the reservoir has its own operational regime meaning it fills and empties periodically. Over time, the inflow and outflow should balance, assuming there is no overflow or leakage.

A persistent negative balance may indicate misassigned meters or incorrect signal direction. Similarly, if the meters are incorrectly allocated to their respective DMAs, the reservoir's filling and emptying cycle can distort the Net Flow, leading to inaccurate leakage calculations. Therefore, careful verification of meter/signal configurations is vital to ensure that system connectivity is correctly represented and that leakage assessments remain accurate.

PRESSURE CONFIGURATION ERROR

Beyond asset configuration, maintaining accurate records of pressure logger locations is equally critical. This involves ensuring that any changes to logger positions are correctly reflected in the DMA configuration.

The example below shows pressure data indicating that a logger has been relocated twice to different points within the network. It is essential to track such changes; otherwise, the pressure signals will misrepresent the DMA to which they are assigned. This can lead to incorrect calculations of Average Zone Pressure, Average Zone Night Pressure, and Night-Day Factors which are key components in leakage analysis. Inaccurate data at this stage can result in inappropriate operational decisions. Moreover, since pressure data also informs hydraulic modelling, inconsistencies can negatively affect model accuracy and the resulting insights.

Field maintenance activities or infrastructure modifications may necessitate repositioning loggers, but unless these updates are properly recorded, relocated sensors will produce misleading data that undermines the integrity of the entire monitoring system.



FIGURE F-16 Example of pressure configuration error

PUMPED PROFILE DMA

A DMA should exhibit a consistent diurnal flow pattern to provide a reliable basis for MNF and leakage calculations. When the flow profile does not accurately represent actual consumption within the DMA, the scope and reliability of any subsequent analysis are significantly reduced. The example below illustrates a DMA with a net flow pattern influenced by pumping activity. In this case, the pumps at the inlet meter supply a storage reservoir, which in turn serves most of the consumers within the DMA.

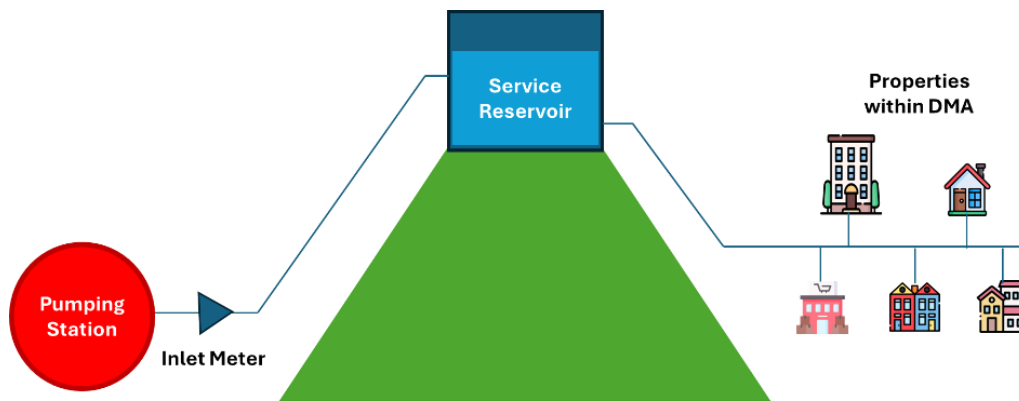


FIGURE F-17 Pumped DMA Illustration

In the above example, ideally, both the inlet and outlet of the reservoir should be metered and logged to generate an accurate representation of the net flow for the DMA. Because of this setup, the flow profile corresponds to the pump turning on and off when supplying the reservoir as shown in the example below. This means that the recorded MNF does not correspond to true minimum consumption and therefore should not be used as the basis for leakage calculations. Instead, the daily water balance method, using total daily flow, should be applied to determine leakage more accurately.

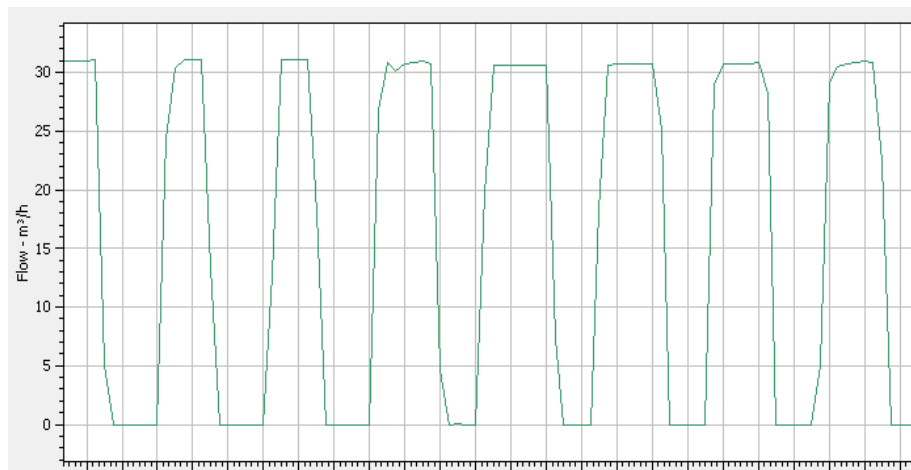


FIGURE F-18 Example pumped profile DMA

LARGE USER WITHIN DMA

A large user, typically a non-domestic customer, can significantly distort the net flow of a DMA. If such users consume water during the night and this usage is not accurately accounted for, it may be misinterpreted as leakage.

To mitigate this, large consumers with an average daily demand above a certain threshold should ideally be continuously logged. A practical benchmark is 40 m³ per day; however, any user with consumption large enough or irregular enough to distort the flow profile should also be monitored.

The example below demonstrates how a large user can distort the net flow of a DMA, resulting in unreliable leakage calculations. Once the user is continuously logged and their consumption

is properly accounted for, the net flow data becomes a much more dependable basis for DMA leakage analysis.

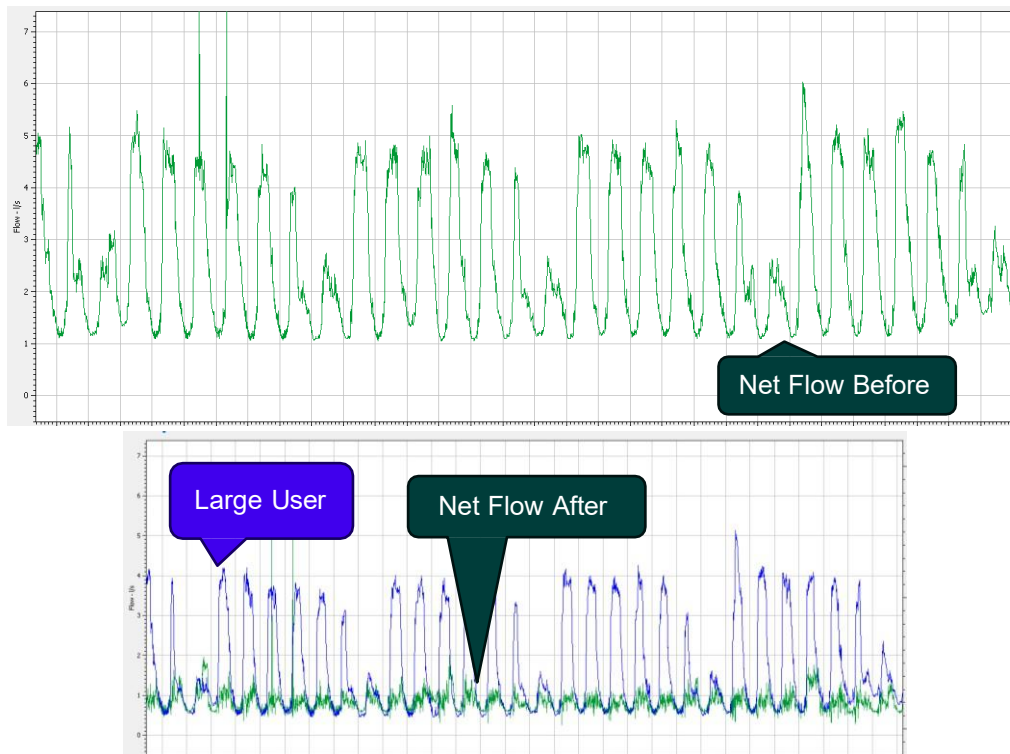


FIGURE F-19 Example of large user impacting DMA net flow before & after logged.

CUSTOMER ERROR IN DMA

Customer data inaccuracies present another key challenge to the reliability of leakage calculations and the hydraulic modelling of DMAs. Accurate customer data is essential, as it directly influences consumption estimates within each DMA.

Several factors can contribute to incorrect customer data, including:

- Inaccurate customer locations or DMA assignments
- Non-domestic customers incorrectly classified as domestic properties
- Missing customer data due to incomplete billing information
- Misclassification of customer types

The example below highlights a case where a large user was incorrectly assigned to the wrong DMA. This misallocation caused consumption and night-use figures to appear excessively high in one DMA and too low in another, leading to misleading conclusions and potentially directing leakage detection activities to the wrong area.



FIGURE F-20 Example of customer DMA assignment error

In another example, customer meter readings were recorded incorrectly. As a result, the consumption data had to be invalidated to prevent distortion of demand analysis and ensure data integrity.

Date	Reading (m3)	Consumption	Consumption validation (valid/Invalid)	Daily consumption (l/d)	Daily consumption Validation (Valid/Invalid)
20/05/24	24,429.63		Valid		Invalid
18/08/24	25,429.63	1,109.54	Valid	2,129.63	Valid
03/03/24	25,429.63		Valid		Invalid
28/0c/24	0.12		Valid		Invalid
10/0c/24	0.12		Valid		Invalid
15/03/24	24,320.09	494.08	Valid	762.46	Valid
05/0c/24	2,826.02	402.82	Valid	1,141.13	Valid
...					

FIGURE F-21 Example of customer reading error.

APPENDIX G EXAMPLE OF REAL CASE DATA-DRIVEN DMA LEAKAGE ESTIMATION SYSTEM

T. Neergaard

This appendix describes a comprehensive example of a fully digitized, data-driven approach to diurnal water balance calculation and the continuous monitoring of water loss fluctuations and night flows within District Metered Areas (DMAs).

A prime example of this methodology in action is Brønderslev Water Company in Denmark (Figure G-1). Since 2021, the utility has successfully implemented a digital Leak Management strategy powered by Smart Meter Technology. This system provides a robust framework for real-time oversight, as documented by Neergaard (2024), demonstrating how high-resolution data can transform traditional water loss reduction into a proactive, automated process.

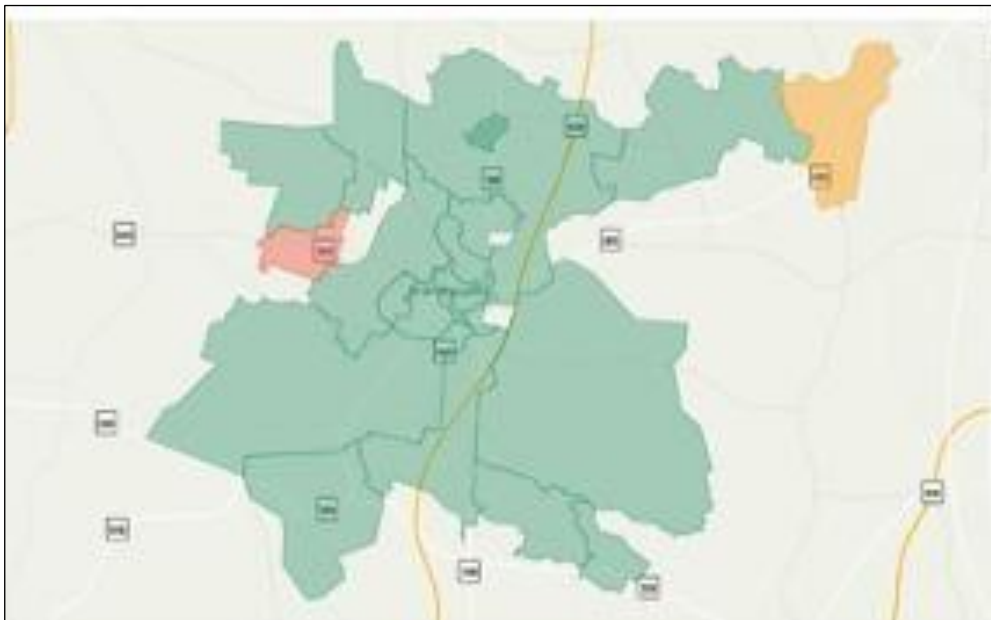


FIGURE G-1 Operational area of Brønderslev Water Company

This data-driven approach is based on the following essential characteristics:

- ◆ Smart Meters were installed in the entire distribution system at every household/consumer.
- ◆ A digitized diurnal data collection system from smart meters uses advanced data transmissions systems (ex. Mioty) or a system based on fixed antennas and extenders, which secure daily or hourly meter reading.
- ◆ Ensuring regular readings from 98% of all smart meter-installations (even with more unstable performance the system would still work).
- ◆ Long battery life of consumer meters under normal use (15+ years).
- ◆ An accuracy of consumer meter reading at +/- 2 pct.
- ◆ Automatic trending/extrapolation of data (if some are temporarily missing).

- ◆ The entire water distribution network was subdivided into unique and well-defined DMAs.
- ◆ Each DMA was equipped with an inlet Bulk Meter connected online with the SCADA.
- ◆ The SCADA is able to calculate reliable daily inflows to the distribution system from the waterworks taking into account filling of the water reservoirs.
- ◆ The pipe GIS database and the DMAs are fully digitized allowing changes automatically to be incorporated into the GIS system.

Additionally, an overall data surveillance and management system was applied with an easy-to-understand GIS-based user interface (Figure G-2).

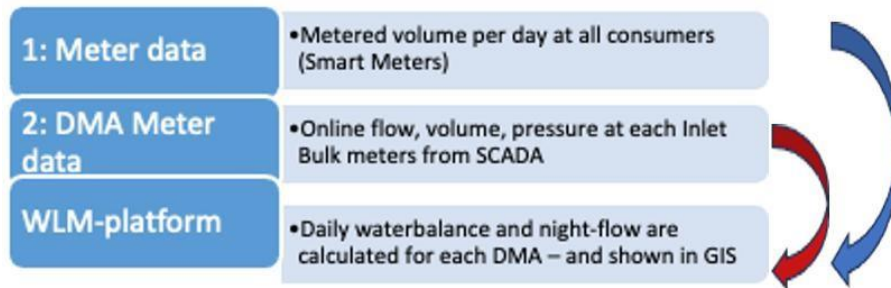


FIGURE G-2 Data surveillance and management system

Figure G-3 shows the water loss before implementation of Water Leakage Management System (2017-18) and after (2019-2025). Here, losses are defined as the differences between measured water input from waterworks to the distribution system and the billed consumption at the smart meters in every DMA.

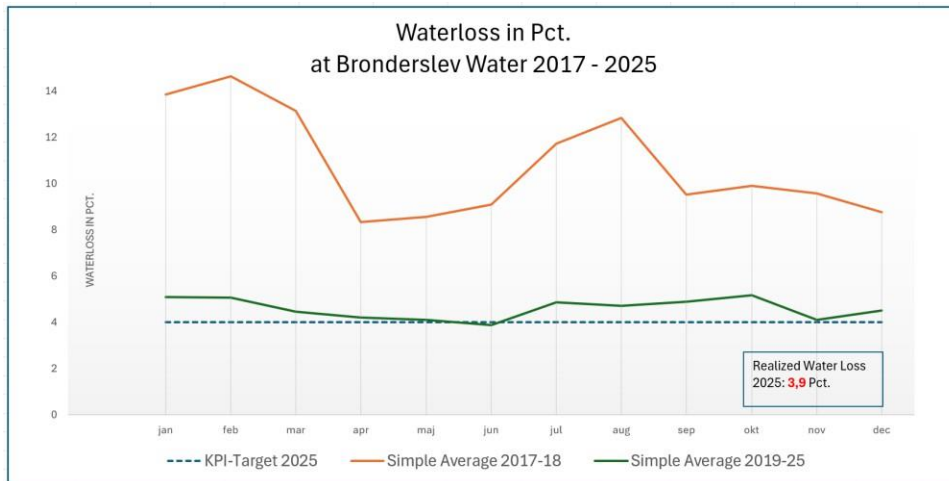


FIGURE G-3 Water Loss Trend

DMAs vary in size, composition, and consumption patterns—some are purely residential, others include storage tanks, industries, or institutions, and many are mixed. Once the system was implemented and commissioned, it was essential for the operational team to understand each DMA’s profile to respond effectively to consumption anomalies.

A consistent and active use of water data significantly reduces losses from newly emerging leaks, as operators can react promptly to changes within DMAs on a daily basis. However, the

benefits extend well beyond addressing new leaks. Daily monitoring and follow-up also enable utilities, over time, to identify and repair long-standing, hidden background leaks—often the most frustrating to detect. Experience shows that reducing these hidden losses can result in substantial cost savings.

While some inaccuracies will inevitably exist— such as uncertainties related to meter performance— these are generally of little practical concern. In daily operations, the precise calculation of water losses (e.g., percentage to decimal points) is less important than the ability to identify diurnal trends and detect deviations as they occur. By gaining better daily control of the distribution system, utilities can profoundly improve their water loss performance. This enhanced control also allows the utility to provide better customer service, for example by communicating timely information about leaks occurring on the customer’s side of the meter.

It is true that acquiring the necessary infrastructure—such as smart meters, fixed networks, IoT systems (e.g., Mioty), and associated monitoring platforms—requires significant investment. Additional costs include staff training, implementation of new procedures, and the time and resources needed to ensure data quality across meters and DMAs. At first glance, the business case for such investments may appear unviable, with a negative bottom line. However, when the full range of benefits from a data-driven approach is incorporated into the business case—including those that emerge during system operation—the financial outlook often shifts from negative to positive. Moreover, further unforeseen advantages frequently arise as utilities learn to harness the power of their data. As the saying goes, “the gold is in the data”. Without actively mining that gold, many valuable opportunities and cost-saving measures will remain undiscovered.

Smart meters and the active use of data in management systems should now be viewed as essential components of an advanced water utility. These technologies provide transparency and organizational control across the distribution network—particularly where DMAs are already established. Achieving these benefits requires serious commitment from senior management.

Active data use enables staff to respond quickly and effectively to anomalies, such as leaks, as soon as they arise. Beyond cost savings, data-driven management opens the door to new customer services and inspires innovative thinking among staff, helping to accelerate the utility’s transition to a digital future.

In short, fully exploiting the potential of smart meters and data-driven solutions may well be the most important next step in the journey toward the truly digital water utility.

DISCLAIMER

This is a publication created on behalf of the IWA Waterloss Specialist Group. The information provided and the opinions given in this publication are not necessarily those of the IWA and the IWA Waterloss Specialist Group and should not be acted upon without independent consideration and professional advice. The IWA, the IWA Waterloss Specialist Group, the editors and contributors, will not accept responsibility for any loss or damage suffered by any person acting or refraining from acting upon any material contained in this publication.

Copyright of any material shared in the document, including figures and tables, belongs to the original creators of the material.

Artificial intelligence (AI) tools were used as a supporting aid in the preparation of this book. AI was applied to assist with tasks such as language correction, text editing and summarization, translation, and the generation or modification of selected graphical elements. All technical content, interpretations, opinions, and conclusions were defined, reviewed, and validated by the authors. The use of AI did not replace professional judgment, domain expertise, or critical review, and no AI-generated content was included without human verification and contextual assessment.