

第3章 計画フレームワーク

3.1 基本計画目標及び目標年次等

3.1.1 基本計画の目標

(1) バルダル川の水質環境基準

下水道基本計画の目標は、スコピエ市内を流下するバルダル川の水質改善を図ることにある。バルダル川の水質悪化は、住民意識調査結果で明らかにされているように、近年始まった問題ではなく長期間にわたる問題である。バルダル川の水質を有機性汚濁の代表指標である BOD で表すと、市内上流部では 2~3mg/l と良好であるが、市内を下るにつれて悪化し下流部では 4mg/l を上回っている。このまま生活污水の未処理放流を続け、工場廃水対策を施さないと、さらに水質が悪化し、Serbia 橋 (Sajmiste Bridge と After OHIS の間) 地点より上流で 4mg/l (類型 I)、下流で 7mg/l (類型 III) と定められている水質環境基準を満足できない状態になることは自明である。

(2) 処理場の排水基準

さらに、EU 都市排水指令では、スコピエ市の人口規模の都市に対しては、下水処理の程度を「二次処理」にすると定めている。EU 加盟候補国であるマケドニア国においても加盟国と同様に、いずれ同指令に基づいて下水道整備を進めることになる。スコピエ市に先行して下水処理場が建設された都市（例えば近年完成した Kumanovo、Cucer Sandevo あるいは計画中の Prilep）では二次処理が採用されている。従い、この基本計画では、二次処理の下水処理場の建設と下水処理場までの幹線管きよの布設を目標とする。

3.1.2 基本計画目標年次

EU 支援により 1999 年に策定された下水道 M/P 及び 2002 年スコピエ都市計画（2002 年策定）では、目標年次を 2020 年としている。これらは、施設の耐用年数及び整備に必要な建設期間等を考慮して、計画策定から概ね 20 年後を目標年次とする一般的な基準に従ったものと思われる。

本基本計画の策定から目標年次の 2020 年までは 10 年余の期間しかないが、2007 年時点で計画区域の約 80%で污水管が既に整備済みであり、目標年次の 2020 年には直ちに事業効果を発揮できる状況にある。また、目標年次以降、下水量の増加に対しては処理施設の増設で対応可能である。したがって、本基本計画では下水処理場に関する目標年次を 2020 年とする。

一方、管きよの整備では、下水量の増加に対しては、流下能力を補う増補管の追加や新たに大口径の管きよを布設することで対応できるが、現実には布設工事が困難なことが多い。このため、より長期の見通しのうえで管きよ計画を立てる必要がある。したがって、管きよ整備に関しては約 20 年後の 2030 年を目標年次とする。

3.1.3 基本計画区域

基本計画区域の設定は、上記の 99 年下水道 M/P と 2002 年スコピエ都市計画との整合を考慮しな

がら、スコピエ上下水道公社との協議に基づき表 3.1 及び図 3.1 に示す区域とした。基本計画区域には、上記 M/P に基づき表 3.1 に示す 4 つの処理区を設定するが、4 つの処理区の分離・併合については第 5 章で検討する。

表 3.1 基本計画区域面積

	基本計画 区域面積 (km ²)	処理区に含まれる区
中央処理区	72.8	Aerodrom, Butel, Gazi Baba, Gorce Petrov, Karpos, Kisela Voda, Centar, Cair, Suto Orizari 他に、スコピエ市外からの流入あり
Saraj 処理区	7.5	Saraj
North Gorge Petrov 処理区	3.2	Gorce Petrov
Dracevo 処理区	4.0	Aerodrom, Kisela Voda 他に、スコピエ市外からの流入あり
合計	87.5	

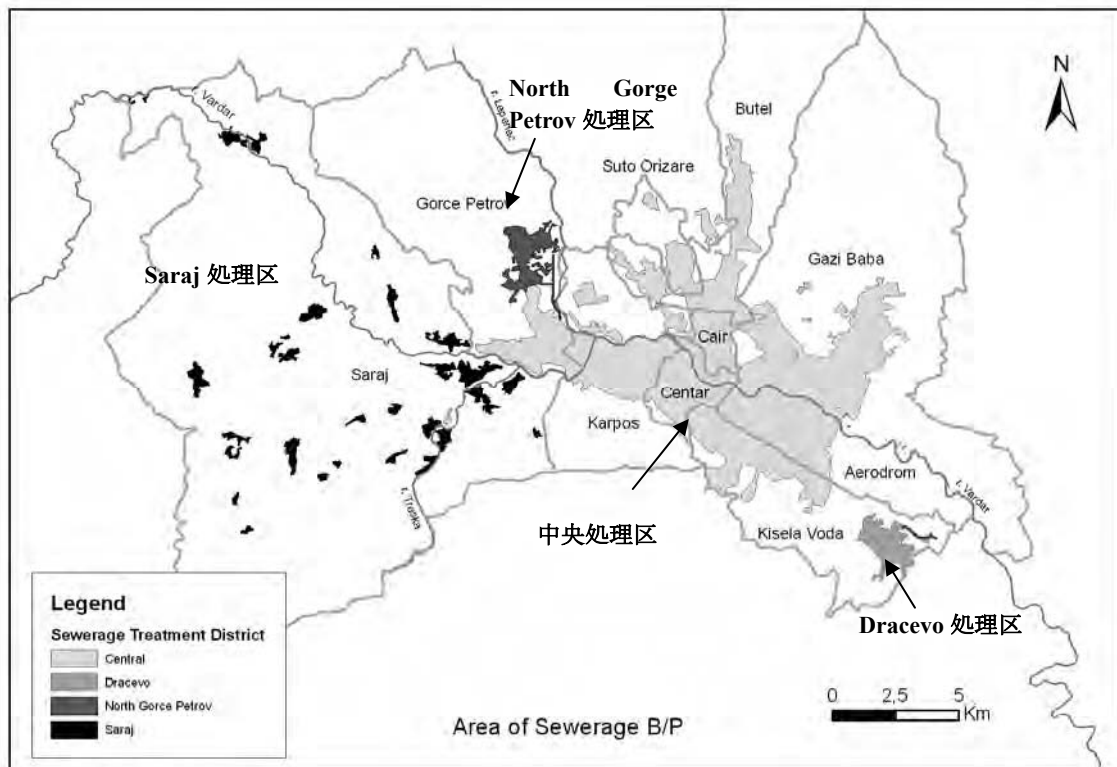


図 3.1 基本計画調査対象区域

3.1.4 雨水の取り扱い方針

スコピエ市では分流式が採用されており、污水管、雨水管が並行して整備されてきた。しかしながら財政面の制約もあり污水管の整備が優先されている。このため、污水管の整備率は 80%前後と高いが、雨水管の整備は市街地を中心に整備はされているものの、周辺地区の整備は手付かずであり、市全体での雨水管の整備率は 30%前後である。スコピエ市は雨水管の整備を今後も継続する意向ではあるものの、下水処理場に関する目標年次である 2020 年までに雨水管の整備率が飛

躍的に高くなることは想定できない。

雨水管の整備が進まない理由として、財政面の制約の他に、年間降水量が 500 mm 前後と少なくかつ降雨強度も高くないために雨水管の整備が遅れても雨水排除に大きな支障がなかった点も大きい。下流の管きょが未整備の場合には、暫定的な措置として、雨水管を污水管に接続しているケースもみられるが、既設の污水管はかつて計画人口、汚水量原単位とも大きな値で計画され、工場廃水量も多く見込んで建設されているため、ある程度の雨水を受け入れることは可能である。

EU 指令には、「雨水による河川汚染対策も施すべき」との条文がある。上記のように、雨水管の整備が遅れている地区では、雨水の一部は污水管を通じてバルダル川に排除されており、この状況は下水処理場の完成する 2020 年でも大きくは改善されず、必然的に雨水は污水管を経て下水処理場へ流入すると考えられる。したがって、本基本計画では、汚濁負荷が高い初期降雨 (First Flush) 31,000 m³/日 (Part I の 3.2.3 参照) については生活污水や工場廃水と同様に処理する計画とする。

3.1.5 工場廃水の取り扱い方針

マケドニア国の工場廃水量は、経済活動の停滞により過去に比べて低くなっている。工場廃水を下水道へ受け入れて処理するのかあるいは自己で処理するのかは諸々の議論がある。どちらの手段をとっても、自己処理あるいは下水処理に共通の排水基準に則って処理することになり環境に対する効果は同じである。ただし下水処理を行う場合は、下水処理では重金属の処理が困難なため工場側に前処理を義務づけることになる。

スコピエの場合はいくつかの例外を除き多くの工場廃水は下水に接続されてきた経緯がある。従い、自己処理を行うとすれば新たに専用管を設けた上で、スコピエ市には排水路がほとんどないため、その専用管をバルダル川まで接続する必要がある。多くの工場に専用管を設置することは非現実的であるため、工場廃水は原則的に下水道へ接続するものとする。

例外は 6 工場である。廃水量が多く有機物の少ない鉄鋼関連工場 (旧コンビナート) の廃水については、すでに廃水処理設備を備え、かつ専用排水管で廃水を直接バルダル川に排出している。従い、鉄鋼関連工場 4 社の廃水については今後も各工場で廃水処理を行い下水道には接続しない。有機化学工場である OHIS も同様に廃水設備、専用排水管をもっており鉄鋼関連工場と同様、工場内で廃水処理を行い下水道には接続しない。また、ビール・飲料水工場である Pivara については、廃水量が多く有機物質濃度が高く下水処理に悪影響を及ぼす恐れがあるため、鉄鋼関連工場、OHIS と同様とする。これら 6 工場の排水処理設備については IPPC 制度に基づく IEP (環境許可) 取得の際、処理の改善が求められることもありうる。

なお、IPPC 制度では水質面で影響の大きい工場は IEP 取得を図ることになっている。その IEP の認可官庁は環境都市計画省あるいはスコピエ市であるが、その認可で下水道へ排水して処理する計画となっているのか、あるいは下水道へ排出する際の排除 (除害) 基準の設定作業は今後の課題として残るが、その調整は環境都市計画省の業務である。その調整過程で、下水道側からみた受入れ基準をどう設定するかが重要である。下水道への排除基準は、新水法に基づき今後制定さ

れる予定である。工場廃水の監視も重要であるが、この監視権限は環境都市計画省にある。本調査では、これに加えて下水処理機能の担保及び下水施設の損傷を防ぐ観点から我が国と同様に、下水道側もこの監視権限を持つことを提案する。Appendix Part I, 3.16 に下水道への排除基準に関する日本の例を示す。

上記の6つの工場を除くと中小の工場が多く、下水に有害物質が混入する恐れもある。このため、廃水処理設備に対する資金融資、あるいは有害工場の廃水の共同処理等の対策も重要である。これについては Part IV 「工場排水管理及び水質モニタリングに関するアクションプラン」の項で扱う。

3.1.6 下水処理方針

EU 指令及びこれを取り込んだ新水法では、人口当量が 2,000 人以上の集落の処理場は二次処理（放流水質 BOD で 25mg/l 以下、COD 125mg/l 以下、SS 35 mg/l 以下）が義務付けられている。EU 指令の基準では、「下水処理は”Weekly Maximum Average”に対応させる必要がある」としており、加えて雨水による汚濁も考慮すべきともしている。

新水法では、水質汚濁対策は流域単位で管理（River Basin Management）をすることになっている。その中で、「流域環境を守る必要があれば上記基準を上回る厳しい規制を課すことができる」となっている。有機汚濁に関する環境基準を達成するためには、「汚濁解析」で示すように二次処理で十分であるが、一方、新水法では”Sensitive Area”を指定できることになっており、”Sensitive Area”に指定された場合は窒素、リンの規制が加わる。新水法の 103 条によると、“Sensitive Area”は事項に該当する場合指定されなければならない。

- ✓ 湖沼等の富栄養化が懸念される水域
- ✓ 飲料水源である水域
- ✓ 大規模下水処理場下流域で富栄養化を進行させる恐れのある水域

下記理由により、スコピエ市の近傍はいずれのケースにも該当しないと判断し、本計画では二次処理を提案する。

- ✓ バルダル川を水源とする上水施設は下水処理場予定地下流にない。
- ✓ スコピエ市下流 50km に Vales 湖を主水源とする Lozar 農場がある。同農場は乾季で水不足が生じた時に、バルダル川から取水しているが水質問題はないとのことである。
- ✓ 処理場下流の環境基準点 Taor に近く、同地点より下流の Bashino での窒素濃度は 2mg/l 以下である。

しかしながら、本計画が実施に移される頃には River Basin Management Plan が策定され、下水処理場下流域が”Sensitive Area”に指定される可能性も少ないとはいえる（下流域では約 10,000 人の住民が深さ 30m の浅井戸を飲料水水源としている）。さらに、バルダル川はギリシャを経てエーゲ海に注ぐ国際河川であり、その面で窒素、リンの除去が要請される可能性もある。最近 EU、スイス、オーストリアの支援で建設されたマケドニアの下水処理場はすべて窒素、リン除去設備が備わっている。いずれのケースも、両国では窒素、リン除去が義務付けられており、それに従

って計画したとのことである。本計画の一部は EU のグラントである IPA 基金の財政支援¹を受ける予定であり、その場合 EIA に加えて本 F/S も、EU 委員会の審査を受けることになる。これに備えて、本計画では第二期計画で窒素、りん除去設備を備える計画とする。

3.1.7 下水処理水と下水汚泥の再利用の方針

(1) 下水処理水の再利用

下水処理水の再利用は、公共用水域へ排出される汚濁負荷量の総量削減や水資源有効利用の面からその必要性は大きい。新水法 117 条でも、環境に悪影響を及ぼさない範囲で、かつ環境都市計画省の承認を得た上で、できる限り下水処理水を再利用すべきとしている。

下水処理水は従来から下水処理場内で機械用水等に利用されてきた。施設の稼動には多量の水が使用されるほか、植栽等の散水用にも利用される。下水処理水の再利用については、その用途から下水処理場の施設運転用と下水処理場外での利用に大別されるが、その内容は表 3.2 に示すものである。

表 3.2 下水処理水の再利用の用途

下水処理場内(施設運転用)	下水処理場外
各種ポンプの水封水	雑用水 (水洗便所用水、緑地の散水用水、洗砂用水)
沈砂池の機械設備等の洗浄水	池、せせらぎ等の修景用水
反応タンク等の消泡水	農業用水
消毒設備の給水	防災用水
汚泥脱水設備の洗浄水	冷暖房用の熱源水
薬品等の溶解水	河川の維持用水
臭気対策のための脱臭水	
ディーゼルエンジン等の二次冷却水	

一方、スコピエ市周辺における下水処理水に対する需要の点については、下水処理場内での施設運転用はともかく、農業等での利用については今のところ具体的なものは見当たらない。マケドニア国当局によると、農業利用にしても中央下水処理場付近は水が豊富であり、灌漑を必要とする地域は近傍にないとのことで、下水処理水の再利用の検討は今後の課題である。

下水処理水の再利用に当たり留意すべき点はその水質であるが、中央処理場の流入水のうち約 23% は工場廃水である。下水道へ工場廃水を排出するための前処理に関する基準は今後制定される予定であるが、制定後も再利用に当たっては重金属等の有害物質を監視していく必要がある。マケドニア国および EU 指令では、下水処理水の再利用に関する水質規制値が決められていないので、参考に日本の規制値²を表 3.3 に示す。これによると、場内で再利用（水洗用水、散水用水）するのに要求される水質は前節で述べた EU 指令に基づく二次処理放流水質基準の範囲内である。一方、下水処理場外での利用を想定した修景用水、親水用水の場合は処理水が直接人体に触れるため、EU 指令より厳しい水質が要求される。しかし、処理場外での再利用の可能性は低いため、本計画での下水処理場の放流水質基準は EU 指令に沿ったものとする。

¹ Part II の 7 章を参照

² 新基準（2005 年）を達成するためには、砂ろ過設備を設ける必要があり、マケドニアにはそぐわないため旧基準を記す。

表 3.3 主な利用目的と要求される水質

水質項目	水洗用水 ⁽¹⁾	散水用水 ⁽¹⁾	修景用水 ⁽²⁾	親水用水 ⁽²⁾
外観	不快でないこと	不快でないこと	-	-
大腸菌群数 (個/ml)	10 以下	検出されないこと	10 以下	0.5 以下
BOD (mg/l)	-	-	10 以下	3 以下
pH	5.8～8.6	5.8～8.6	5.8～8.6	5.8～8.6
濁度 (度)	-	-	10 以下	5 以下
臭 気	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと	不快でないこと
色度 (度)	-	-	40 以下	10 以下
残留塩素(結合) (mg/l)	保持されていること	0.4 以上	-	-

出典: (1) 「下水処理水循環利用設計指針」(案)、建設省
(2) 「下水処理水の修景・親水利用水質検討マニュアル」(案)、建設省高度処理会議

(2) 下水汚泥の処分あるいは再利用

下水汚泥の農業利用は日本でも行われており有望視されている。下水汚泥は窒素、りんなどの肥料成分のほか、各種の有用な無機質で構成されていることから、その資源的利用価値は高く、農緑地利用は望ましい利用形態と考えられる。マケドニア国内では、10 数年稼動している Struga 及び Ohrid 共同処理場において下水汚泥の一部が肥料として使われている。

新水法 118 条でも、下水処理水の再利用と同様に、環境に悪影響を及ぼさない範囲で、かつ環境都市計画省の承認を得た上で、できる限り下水汚泥を再利用すべきであるとしている。しかしながら、この新水法には下水汚泥に含まれる有害物質に対する規制値が制定されていないので、ここでは EU 指令 (86/278/EEC) による規制値を表 3.4 に示す。

表 3.4 汚泥関連の重金属あるいは投与限界値

水質項目	土壌の重金属限界値	肥料に用いる汚泥の 重金属限界値	農地への重金属年間投与 量限界値 (10 年間平均)
(単位)	mg/kg of dry matter in a representative sample	mg/kg of dry matter	kg/ha/yr
カドミウム	1 ～ 3	20 ～ 40	0.15
銅	50 ～ 140	1,000 ～ 1,750	12
ニッケル	30 ～ 75	300 ～ 400	3
鉛	50 ～ 300	750 ～ 1,200	15
亜鉛	150 ～ 300	2,500 ～ 4,000	30
水銀	1 ～ 1.5	16 ～ 25	0.1
クロム	-	-	-

出典: EU 指令 (86/278/EEC)

下水汚泥が上記範囲内にある場合には肥料としての利用が可能である。しかし、中央処理場では下水汚泥の発生量が大きい場合ため全量を肥料用に用いられない可能性があるが、その場合はさらに有害廃棄物と無害廃棄物に区分し処分先を決めることになる。無害廃棄物の場合には、スコピエ市の廃棄物公社の運営する Drisla 処分場にて処分する。受入れ可能な無害廃棄物の基準は EU 指令 (2003/33/EC) にあり表 3.5 に示すとおりである。

下水汚泥の農業への再利用にあたっては、有害成分の含有の有無を検査し、確認してから利用の

可否を決める必要がある。再利用が無理な場合、有害物質が下水汚泥に混入した場合は、廃棄物処理法（Official Gazette No. 46/96, 12/2003, 35/2004, 52/2004 and 60/2004）で定められ、環境都市計画省の「廃棄物対策」に述べられている 2014 年に完成予定の有害廃棄物処分場にて処分する。なお、この有害廃棄物処分場の建設・管理は、廃棄物法 80 条に規定されており中央政府が行う。なお、これに関する F/S の具体化の話は進んでいない（2009 年 1 月末時点）。

表 3.5 無害廃棄物の限界値

	溶出試験		C ₀ (浸透試験) (mg/l)
	L/S = 2 l/kg (mg/kg 乾燥汚泥)	L/S = 10 l/kg (mg/kg 乾燥汚泥)	
ヒ素	0.4	2	0.3
バリウム	30	100	20
カドミウム	0.6	1	0.3
全クロム	4	10	2.5
銅	25	50	30
水銀	0.05	0.2	0.03
モリブデン	5	10	3.5
ニッケル	5	10	3
鉛	5	10	3
アンチモン	0.2	0.7	0.15
スカンジウム	0.3	0.5	0.2
亜鉛	25	50	15
塩化物	10,000	15,000	8,500
フッ化物	60	150	40
硫酸塩	10,000	20,000	7,000
溶存態有機炭素 (DOC)	380	800	250
全蒸発残留物 (TDS)	40,000	60,000	-

注) L/Sは溶出試験の条件で液体・固体比率
出典: EU指令 (2003/33/EC)

3.1.8 下水処理水と発生汚泥の質のモニタリング

バルダル川の水質を守り市民の健康を守るのみならず、下水処理水及び発生汚泥の再利用を図る面でも、処理水及び発生汚泥のモニタリングは重要である。下水への有害物質の混入が判明した場合は再発防止が重要となる。このためには混入箇所（工場）の特定、改善命令等の権限が不可欠である。この権限は既に環境都市計画省にあるが、これに加えて下水道サイドにも権限を付与すべきと判断する。

3.2 下水発生量

3.2.1 生活汚水量

(1) 人口の推移

スコピエ市の人口は表 3.6 に示すように、1981 年には 442,606 人（1981 年国勢調査）であったが、1994 年には 475,902 人、2002 年には 502,665 人に増加した。この間の人口増加率は 0.56%（1981 年～1994 年）ないし 0.69%（1994 年～2002 年）と安定していた。この間の区別の詳細な人口については Appendix Part I, 3.1 を参照のこと。

2005 年には区境界の変更および市域の変更が実施された。マケドニア国自治省は区境界及び市域変更後の 2005 年のスコピエ市の人口を 506,926 人と発表している。この 2005 年の人口は 2002 年の人口 502,665 人に新たな開発区域の人口として 4,261 人を上乗せしたものである。したがって、開発区域以外の人口は 2002 年のものであり、自治省が発表した 2005 年の人口は実質的には 2002 年の人口といえる。また、マケドニア国統計局は変更された区境界及び市域に基づく 2006 年の人口を 522,187 人としている。この人口は 2002 年からの 4 年間の人口増加率を 0.75%/年とし、開発区域の人口 4,261 人を加算したものである。

表 3.6 スコピエ市の人口の推移

実施年	国勢調査			自治省発表	統計局推定
	1981 年	1994 年	2002 年	2005 年	2006 年
人口 (人)	442,606	475,902	502,665	506,926	522,187
年増加率 (%)		0.56	0.69	-	0.74

注) 統計局の 2006 年値は 2002 年以降、約 0.73%の増加率に同上開発地区を加算。

後述するように基本計画区域内は、中央、Saraj、North Gorce Prtrov、Dracevo の 4 つの処理区からなる。2006 年の人口 522,187 人をこれらの 4 つの処理区別および区 (Municipality) 別に示すと表 3.7 のとおりである。

表 3.7 下水処理区別・区別人口 (2006 年) (統計局推定値ベース)

(人)

	下水処理区					処理区 外	計
	中央	Saraj	NGP	Dracevo	小計		
スコピエ市							
Aerodrom	72,198	0	0	2,519	74,717	0	74,717
Butel	37,577	0	0	0	37,577	0	37,577
Gazi Baba	60,752	0	0	0	60,752	14,102	74,854
Gorce Petrov	34,097	0	6,987	0	41,084	0	41,084
Karpos	60,089	0	0	0	60,089	0	60,089
Kisela Voda	39,620	0	0	19,869	59,489	0	59,489
Center	47,200	0	0	0	47,200	0	47,200
Cair	67,321	0	0	0	67,321	0	67,321
Suto Orizari	22,883	0	0	0	22,883	0	22,883
Saraj	0	36,973	0	0	36,973	0	36,973
小計	441,737	36,973	6,987	22,388	508,085	14,102	522,187
スコピエ市外							
Sopiste	5,498	0	0	0	5,498		
Soncev Grad	0	0	0	0	0		
Studenicani	0	0	0	5,974	5,974		
Morani	0	0	0	1,771	1,771		
Batinci	0	0	0	5,537	5,537		
小計	5,498	0	0	13,282	18,780		
合計	447,235	36,973	6,987	35,670	526,865		

注) NGP: North Gorce Petrov

表 3.7 によれば、Gorce Prtrov 区内にある North Gorce Petrov 処理区の人口は 6,987 人、また、Saraj 区内にある Saraj 処理区の人口は 36,973 人である。一方、第 5 章で詳述するが Saraj 処理区、North Gorce Petrov 処理区に関しては、Saraj 区、Gorce Petrov 区が実施したそれぞれの F/S において計画人口を表 3.8 のように定めていることから、本基本計画においては、F/S の計画人口を統計局の推定値に代えて採用し、Gorce Petrov 区と Saraj 区の人口を表 3.9 のように変更する。この結果、本

基本計画における 2006 年のスコピエ市の人口は、統計局の推定値より 4,469 人増の 526,656 人となる。

表 3.8 Saraj 処理区と North Gorce Petrov 処理区の計画人口

	2006 年	2020 年	2030 年
Saraj 処理区	38,628	52,500	62,820
North Gorce Petrov 処理区	9,800	13,200	16,100

出典: 各処理区の F/S レポート

表 3.9 Saraj 処理区と North Gorce Petrov 処理区の計画人口の変更 (2006 年)

	North Gorce Petrov 処理区		Saraj 処理区		差 異
	統計局	下水道計画	統計局	下水道計画	
Saraj 区			36,972	38,628	+1,656
Gorce Petrov 区	6,987	9,800			+2,813
計					+4,469

(2) 将来人口の推定

スコピエ市の将来予測人口には、99 年下水道 M/P と 2002 年スコピエ都市計画によるものがある。これらの計画は 2002 年の国勢調査の前に策定されたものであり、2002 年の国勢調査結果は反映されていないことと、2005 年に実施された市域界の変更を反映していないことに注意を要する。表 3.10 に 99 年下水道 M/P 及び 2002 年スコピエ都市計画による将来人口を示す。99 年下水道 M/P と 2002 年スコピエ都市計画の将来人口推定の詳細は Appendix Part I, 3.1 を参照のこと。

表 3.10 各計画の将来人口予測

	99 年下水道 M/P		2002 年スコピエ都市計画		
	1998 年	2020 年	1994 年	2010 年	2020 年
人口 (人)	401,000	469,000	394,997	433,045	458,897
年増加率 (%)		0.80		0.58	0.58

表 3.10 の 2002 年スコピエ都市計画における人口増加率は 0.58%/年と低めであるが、今後の人口増加率に関しては表 3.6 の統計局の推計では 0.75 %/年である。99 年下水道 M/P では人口増加率 0.8%/年を採用しているが、これは統計局の承認の下で使用されている。また、1999 年に策定された「全国総合水資源マスタープラン」(JICA) で用いられた人口増加率も同じく 0.8%/年である。

以上より、本基本計画でも人口増加率として 0.8%を採用し将来人口を推定する。ただし、Saraj 処理区と North Gorce Petrov 処理区の将来人口は各 F/S 計画値を採用する。また、Kisela Voda 区には新規の開発地区があり、その地区の人口は開発計画によった。表 3.11 及び及び図 3.2 に本基本計画における将来人口を示す。

表 3.11 スコピエ市の将来人口推定

(人)

行政区 (Municipality)	2006年	2020年	2030年	備 考
Aerodrom	74,717	83,500	90,400	0.8%/年
Butel	37,577	42,000	45,500	0.8%/年
Gazi Baba	74,854	83,700	90,600	0.8%/年
Gorce Petrov				
NGP処理区	9,800	13,200	16,100	下水道F/S計画値
その他の地区	34,097	38,100	41,300	0.8%/年
小 計	43,897	51,300	57,400	
Karpos	60,089	67,200	72,800	0.8%/年
Kisela Voda				
既存地区	59,489	66,500	72,000	0.8%/年
新開発地区	0	6,200	6,700	開発計画値
小 計	59,489	72,700	78,700	
Center	47,200	52,800	57,200	0.8%/年
Cair	67,321	75,300	81,500	0.8%/年
Suto Orizari	22,883	25,600	27,700	0.8%/年
Saraj	38,628	52,500	62,800	下水道F/S計画値
合 計	526,655	606,600	664,600	

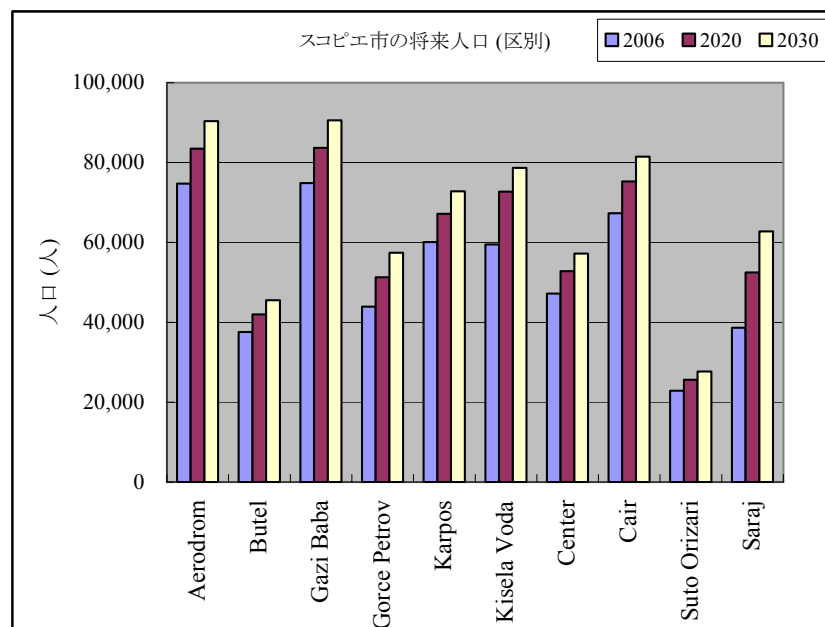
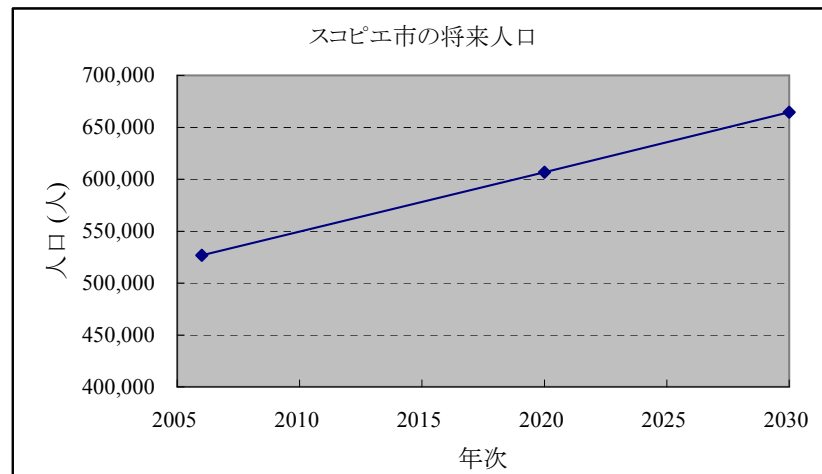


図 3.2 スコピエ市の人口予測

(3) 基本計画区域内人口

基本計画区域はスコピエ市全域とスコピエ市に隣接する市外の集落を含み、中央処理区、Saraj 処理区、North Gorce Petrov 処理区、Dracevo 処理区の4つの処理区により構成される。4つの処理区の境界線は99年下水道M/Pにより定められているものを採用する。スコピエ市内のうちGazi Baba区の一部は市街地から離れて位置するため下水道計画区域に含めない。一方、中央処理区とDracevo 処理区ではスコピエ市に隣接する市外の集落からの汚水を受ける計画である。表3.12に処理区別、区（Municipality）別人口を示す。

2020年におけるスコピエ市の人口606,600人のうち、下水道計画区域内の人口は590,800人、区域外の人口は15,800人である。また、下水道に接続されるスコピエ市外の人口は28,370人である。したがって、下水道計画人口はあわせて619,170人である。

表 3.12 処理区別計画区域内人口

(i) 2006 年

(人)

	下水処理区					処理区 外	計
	中央	Saraj	NGP	Dracevo	小計		
スコピエ市内							
Aerodrom	72,198	0	0	2,519	74,717	0	74,717
Butel	37,577	0	0	0	37,577	0	37,577
Gazi Baba	60,752	0	0	0	60,752	14,102	74,854
Gorce Petrov	34,097	0	9,800	0	43,897	0	43,897
Karpos	60,089	0	0	0	60,089	0	60,089
Kisela Voda	39,620	0	0	19,869	59,489	0	59,489
Center	47,200	0	0	0	47,200	0	47,200
Cair	67,321	0	0	0	67,321	0	67,321
Suto Orizari	22,883	0	0	0	22,883	0	22,883
Saraj	0	38,628	0	0	38,628	0	38,628
小 計	441,737	38,628	9,800	22,388	512,553	14,102	526,655
スコピエ市外							
Sopiste	5,498	0	0	0	5,498		
Soncev Grad	0	0	0	0	0		
Studenicani	0	0	0	5,974	5,974		
Morani	0	0	0	1,771	1,771		
Batinci	0	0	0	5,537	5,537		
小 計	5,498	0	0	13,282	18,780		
合 計	447,235	38,628	9,800	35,670	531,333		

下水処理区名: Central: 中央処理区
 Saraj: Saraj 処理区
 NGP: North Gorce Petrov 処理区
 Dracevo: Dracevo 処理区

(ii) 2020 年

(人)

	下水処理区					処理区 外	計
	中央	Saraj	NGP	Dracevo	小計		
スコピエ市内							
Aerodrom	80,670	0	0	2,830	83,500	0	83,500
Butel	42,000	0	0	0	42,000	0	42,000
Gazi Baba	67,900	0	0	0	67,900	15,800	83,700
Gorce Petrov	38,100	0	13,200	0	51,300	0	51,300
Karpos	67,200	0	0	0	67,200	0	67,200
Kisela Voda	50,480	0	0	22,220	72,700	0	72,700
Center	52,800	0	0	0	52,800	0	52,800
Cair	75,300	0	0	0	75,300	0	75,300
Suto Orizari	25,600	0	0	0	25,600	0	25,600
Saraj	0	52,500	0	0	52,500	0	52,500
小 計	500,050	52,500	13,200	25,050	590,800	15,800	606,600
スコピエ市外							
Sopiste	7,520	0	0	0	7,520		
Soncev Grad	6,000	0	0	0	6,000		
Studenicani	0	0	0	6,680	6,680		
Morani	0	0	0	1,980	1,980		
Batinci	0	0	0	6,190	6,190		
小 計	13,520	0	0	14,850	28,370		
合 計	513,570	52,500	13,200	39,900	619,170		

下水処理区名: Central: 中央処理区
 Saraj: Saraj 処理区
 NGP: North Gorce Petrov 処理区
 Dracevo: Dracevo 処理区

(iii) 2030 年

(人)

	下水処理区					処理区 外	計
	中央	Saraj	NGP	Dracevo	小計		
スコピエ市内							
Aerodrom	87,350	0	0	3,050	90,400	0	90,400
Butel	45,500	0	0	0	45,500	0	45,500
Gazi Baba	73,500	0	0	0	73,500	17,100	90,600
Gorce Petrov	41,300	0	16,100	0	57,400	0	57,400
Karpos	72,800	0	0	0	72,800	0	72,800
Kisela Voda	54,640	0	0	24,060	78,700	0	78,700
Center	57,200	0	0	0	57,200	0	57,200
Cair	81,500	0	0	0	81,500	0	81,500
Suto Orizari	27,700	0	0	0	27,700	0	27,700
Saraj	0	62,800	0	0	62,800	0	62,800
小 計	541,490	62,800	16,100	27,110	647,500	17,100	664,600
スコピエ市外							
Sopiste	8,160	0	0	0	8,160		
Soncev Grad	6,000	0	0	0	6,000		
Studenicani	0	0	0	7,240	7,240		
Morani	0	0	0	2,140	2,140		
Batinci	0	0	0	6,710	6,710		
小 計	14,160	0	0	16,090	30,250		
合 計	555,650	62,800	16,100	43,200	677,750		

下水処理区名: Central: 中央処理区
 Saraj: Saraj 処理区
 NGP: North Gorce Petrov 処理区
 Dracevo: Dracevo 処理区

(4) 一人あたり家庭汚水量

用途別使用水量

水道使用水量実績をもとに一人一日あたり生活汚水量を算定する。ただし、水道使用量に関するデータはないので用途別の給水量のデータを用い、水道使用量は水道給水量と等しいものと仮定する。用途別の給水量についてはスコピエ上下水道公社の年報に記載されている。これを表 3.13 に示す。2002 年から 2006 年の給水量をみると、この 5 年間では減少傾向を示している。用途別に見ると、官公庁用、工業用は 20%以上の減少となっているのに対し、生活用、商業用の給水量はほぼ横ばいである。ただし、この生活用の給水量の他に、このデータには表れない違法接続による使用があり、スコピエ上下水道公社では正規の生活系給水量の 15～20%程度と推定している。

表 3.13 用途別給水量の推移

	(m ³ /日)				
	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
(1) 生活系					
生活用	76,172	78,710	76,917	75,378	75,857
商業用	3,472	4,079	3,682	3,341	3,471
官公庁用	7,291	7,196	7,047	6,207	5,621
小 計	86,935	89,985	87,646	84,926	84,949
(2) 工業系					
工場用	34,279	31,357	29,188	27,269	26,283
小 計	34,279	31,357	29,188	27,269	26,283
合 計	121,214	121,342	116,834	112,195	111,232

出典：スコピエ上下水道公社

一人一日あたり生活汚水量

表 3.13 に示す生活系給水量（生活用、商業用、官公庁用）をもとに一人あたり生活汚水量を表 3.14 のように算定した。この際、生活系給水量に違法接続による水使用量として 17.5%を加算した。水道使用水量は給水量と等しいと仮定した。2002 年の給水率の実績値 96%が 2006 年まで変わらないと仮定して各年の給水人口を求め、この給水人口で水道使用水量を除いて一人あたり水道使用量を算定した。2020 年の給水実績、給水量については、Appendix Part I, 3.2 を参照のこと。

生活汚水量は水道使用量に生活汚水量への転換率は 0.9 を乗じて算出し、さらに地下水量として生活汚水量の 10%を加算した。これをあらためて生活汚水量とする。なお、スコピエにおける転換率及び地下水浸入率については信頼できる統計データがないため、調査団は上記の値を採用した。

表 3.14 一人一日あたり生活污水量の算定

	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
生活系使用水量 (m ³ /日)	86,935	89,985	87,646	84,926	84,949
生活系使用水量(違法接続) (m ³ /日)	15,214	15,747	15,338	14,862	14,866
生活系総使用水量 (m ³ /日)	102,149	105,732	102,984	99,788	99,815
人口 (人)	506,926	511,858	516,791	521,723	526,655
給水率	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
給水人口 (人)	486,307	491,384	496,119	500,854	505,589
一人あたり使用水量 (リットル/人・日)	210	215	208	199	197
汚水転換率	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
地下水量率	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
一人あたり汚水発生量 (リットル/人・日)	208	213	206	197	195

- 注) 1) 生活系使用水量には商業用、官公庁用を含む
 2) 違法接続による生活系使用水量は、生活系使用水量の 17.5%とした
 3) 給水率(0.96)は 2002 年の値
 4) 2006 年の一人あたり汚水発生量は 195 リットル/人・日を四捨五入して 200 リットル/人・日とする

算定された一人一日あたり生活污水量は表 3.15 に示すように 2006 年で 195 リットル/人・日である。2002 年から 2006 年までの変化をみるとやや減少傾向であるが、2006 年以降は減少しないものと仮定し 195 リットル/人・日を切り上げて 200 リットル/人・日とする。

表 3.15 一人一日あたり生活污水量

	2006～2030 年
一人あたり生活污水量	200 リットル/人日

(5) 処理区別生活污水量

各処理区的生活污水量は処理区域内人口に一人一日あたり生活污水量を乗じて生活污水量を表 3.16 に示す。

表 3.16 処理区別生活污水量(地下水を含む)

	2006	2020	2025	2030
中央処理区				
区域内人口 (人)	447,235	513,570	534,610	555,650
生活系汚水量 (m ³ /日)	89,450	102,710	106,920	111,130
Saraj 処理区				
区域内人口 (人)	38,628	52,500	57,650	62,800
生活系汚水量 (m ³ /日)	7,730	10,500	11,530	12,560
North Gorce Petrov 処理区				
区域内人口 (人)	9,800	13,200	14,650	16,100
生活系汚水量 (m ³ /日)	1,960	2,640	2,930	3,220
Dracevo 処理区				
区域内人口 (人)	35,670	39,900	41,550	43,200
生活系汚水量 (m ³ /日)	7,130	7,980	8,310	8,640
生活系汚水量計 (m ³ /日)	106,270	123,830	129,690	135,550

3.2.2 工場廃水量

(1) 現況工場廃水量

基本計画区域内の工場は小規模工場の一部を除きほぼ全て中央処理区内に位置すると見なすことができる。従い、中央処理区以外の Saraj、North Gorce Petrov、Dracevo の各処理区では工場廃水量を計上しない。中央処理区では、廃水の前処理施設を設ける予定の 6 つの大規模工場を除く全工場の廃水を受け入れる計画である。

中央処理区の工場廃水量は、図 3.3 に示す基本計画区域内の 50 工場を対象とした工場調査をもとに推定した。調査対象の 50 工場は次の基準で選定した。

- 99 年下水道 M/P の調査対象工場
- 環境都市計画省の汚染者台帳（Cadastre of Polluters）に記載の工場
- IPPC 制度の対象工場のうち、排出量、排出汚濁負荷量の多い工場

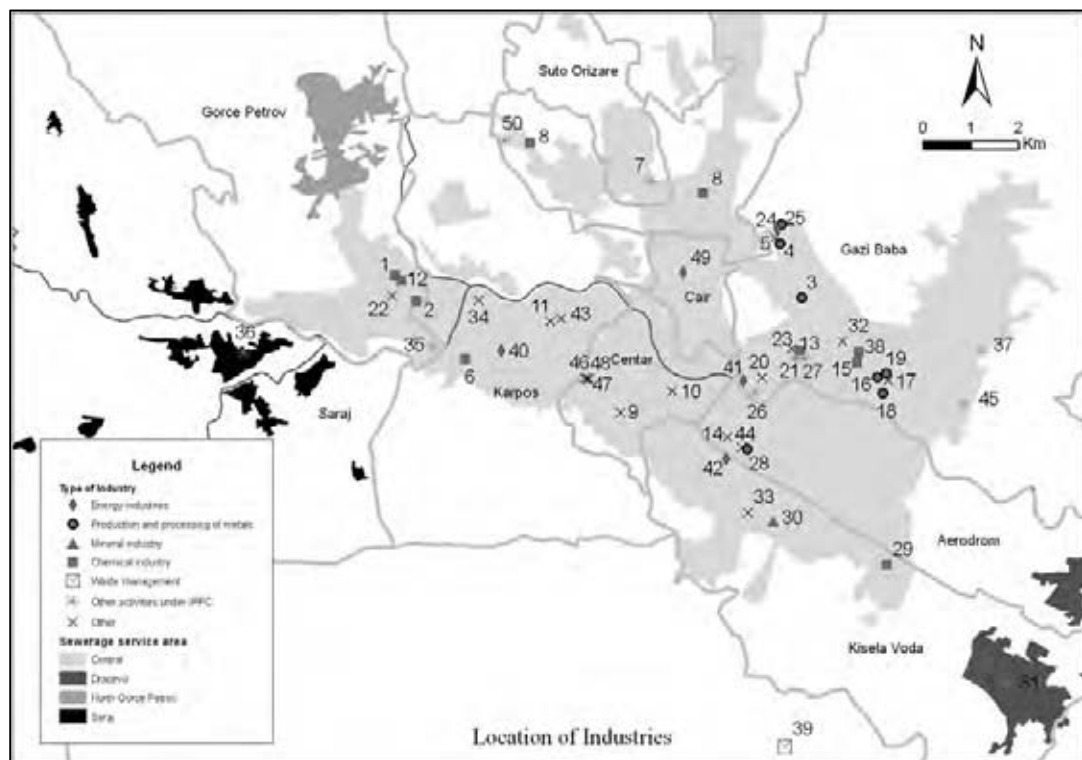


図 3.3 工場調査対象 50 工場の位置図

工場調査の結果、調査した 50 工場の廃水量の合計は表 3.17 のように 28,464 m³/日と算定された。これら 50 工場の廃水量は、調査対象外の工場を含む全工場の廃水量の概ね 65%³に相当すると想定され、全工場の廃水量は、調査対象外の工場廃水量 15,327 m³/日（35%相当）を加えた、43,791

³ なお、本調査では病院、レストラン、研究所、分析所等からの排水は工場廃水に含まれるものとした。

実際、廃水量を測定、記録している事業所はなく、工場調査でも自己申告制で鉄鋼関連に見られるように過少申告していると思われる。一方、わが国の特定施設のように病院、レストラン、研究所・分析所等は IPPC 制度でリストアップされていないため、廃水を排出する全事業場のリストもないが、水使用量の多い鉄鋼関連、化学工場、製紙、食品工場等は本工場調査に含まれており、全体として少なくとも全事業所・事業場廃水の 65%を本調査はカバーしていると推定した。

m³/日と算定される。工場廃水量の算定の詳細は Appendix Part I, 3.3 を参照のこと。

表 3.17 現況工場廃水量 (2007 年)

	業 種	工場数	廃水量 (m ³ /日)			備 考
			下水道に接続 しない工場	下水道が受入 れる工場	合計	
聞き取り調査 対象の 50 工場	エネルギー関連	5	0	380	380	
	金属加工製造業	7	15,626	573	16,199	
	鉱業	1	0	1,008	1,008	
	化学工業	9	2,442	1,602	4,044	
	廃棄物管理	1	0	94	94	
	IPPC による食品工 業、製紙工業	10	1,427	2,324	3,751	
	その他	17	0	2,975	2,975	
	小計	50	19,495	8,969	28,464	全工場計の 65%と仮定
聞き取り対象外の工場			-	-	15,327	全工場計の 35%と仮定
全工場からの廃水発生量計			19,495	24,296	43,791	

出典：工場調査及び JICA 調査団

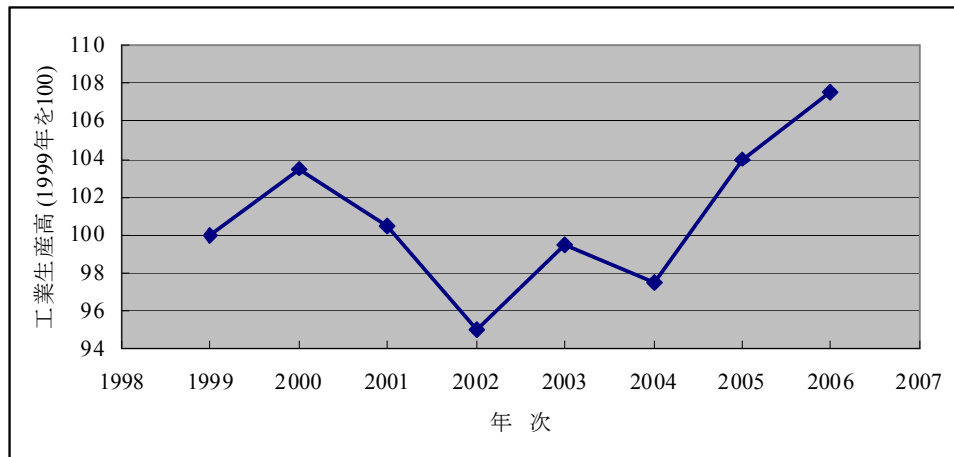
廃水施設を設置し今後も自己処理する工場は表 3.18 に示す 6 工場である。これら 6 工場の廃水は下水道には受け入れない。したがって、表 3.17 に示すように全工場の廃水量 43,791 m³/日から下水道に接続しない工場の廃水量 19,495 m³/日を除いた 24,296 m³/日が 2007 年において下水道が受け入れる工場廃水量となる。

表 3.18 下水道に接続しない工場の廃水量 (2007 年)

工 場 名	工場廃水量 (m ³ /日)	備 考
(1) ArcelorMittal Steel (製鉄)	5,714	廃水処理施設を所有 大量の廃水量で有機汚濁が 比較的少ない鉄鋼関連の企業
(2) Makstil (製鉄)	4,174	
(3) Energetika – ELEM	172	
(4) Skopski Leguri (製鉄)	5,566	廃水処理施設を所有する企業
(5) Pivara (飲料水製造)	1,427	
(6) Ohis AD (化学、他)	2,442	
合 計	19,495	

(2) 将来工場廃水量

将来の工場廃水量の予測には工業成長率を勘案する必要がある。工業成長率について公的な長期予想はされていないが、首相府の 4 ヶ年計画 (Program of the Government 2006 年～2010 年) では年間 6～8%の高成長を想定している。一方、財務省の 3 ヶ年の投資計画である国家開発計画 (National Development Plan) (2007 年～2009 年) では工業成長率に触れていないが、同計画では、「独立後の景気後退期が治まり、1996 年に景気回復が始まったが成長率は非常に低かった。2004 年からは成長が加速し、同年及び 2005 年の成長率は約 4%であった。」としている。図 3.4 に示す統計局の資料によれば、工業生産高は 2002 年を底とし、同年から 2006 年までの 4 年間で 13 % (年率平均 3.25%) の伸びを示している。



出典：Statistical Review: Industry and Energy, Industry 2001-2006, Republic of Macedonia State Statics Office, June 2007

図 3.4 工業生産高の推移

これらを勘案して、2020 年までの工業成長率を年率 3.5%と仮定し、工場廃水量も同じ伸びを示すものと仮定した。また、CP 活動の実施により、廃水量については 2007 年を基準として 2020 年には 15%⁴、2030 年には 35%の削減を見込む。これにより、将来の工場廃水量を表 3.19 のように算定した。

表 3.19 将来の工場廃水量

	2006 年	2007 年	2020 年	2030 年	備 考
工場廃水量の伸び率	0.965	1.000	1.564	2.206	2007 年=1.0、 増加率: 3.5%/年
工場廃水量 (m ³ /日)	23,446	24,296	38,000	53,600	
CP による廃水量の削減率	-	-	15%	35%	
CP 考慮後の工場廃水量 (m ³ /日)	23,450	24,300	32,300	34,840	

3.2.3 雨水量

(1) 降雨の概要

スコピエ市における 2003 年から 2007 年までの 218 回の降雨について、降雨回数の降雨量別の降雨回数の割合を表 3.20 に示す（詳細なデータは Appendix Part I, 3.17 を参照）。総降雨量 1mm 以下の降雨は全体の 30%、5mm 以下の降雨は全体の 63%であった。降雨継続時間別の降雨回数の割合を表 3.24 に示す。降雨継続時間が 1 時間以内の降雨が全体の 30%、5 時間以下の降雨が 81%であった。

⁴ 鉄鋼関連業種はすでに水の回収・再利用を行っており CP による水質削減率を、他の業種より設定を小さく仮定した。下水道 M/P は EU の経験値として CP などによって 30~40%の汚濁削減が可能としているが、新水法施行が 2010 年であることを考えると 2020 年までにそこまで到達するのは困難と考え、他の業種に関しては年率 3.5%の増加に比例させた 2020 年の排水量を考え、それに対し CP などによって水量、水質の削減率をそれぞれ 15%、20%と仮定した。食品工場は現在全く水の回収・再利用を行っていないが、2020 年、2030 年までには IPPC・BAT 制度を通じて全体として仮定した数字に達成できることを期待したものである。

表 3.20 降雨量規模別割合 (2003 年～2007 年)

降雨量規模	降雨回数	発生頻度	
1 mm 以下	65	30%	63%
1～2 mm	33	15%	
2～5 mm	39	18%	
5～10 mm	39	18%	37%
10 mm 以上	42	19%	
合 計	218	100%	

表 3.21 降雨継続時間別割合 (2003 年～2007 年)

降雨継続時間	降雨回数	発生頻度	
1 時間以下	65	30%	81%
1～2 時間	41	19%	
2～3 時間	26	12%	
3～4 時間	24	11%	
4～5 時間	20	9%	
5～10 時間	28	13%	19%
10 時間以上	14	6%	
合 計	218	100%	

次に、2007 年において降雨継続時間がある程度長いものを抽出し、時間経過に対する降雨量の割合をグラフにしたものを図 3.5 に示す。これによると、殆どの降雨は雨量のピークが無く、同じような降雨強度の雨が降り続けている状況である。

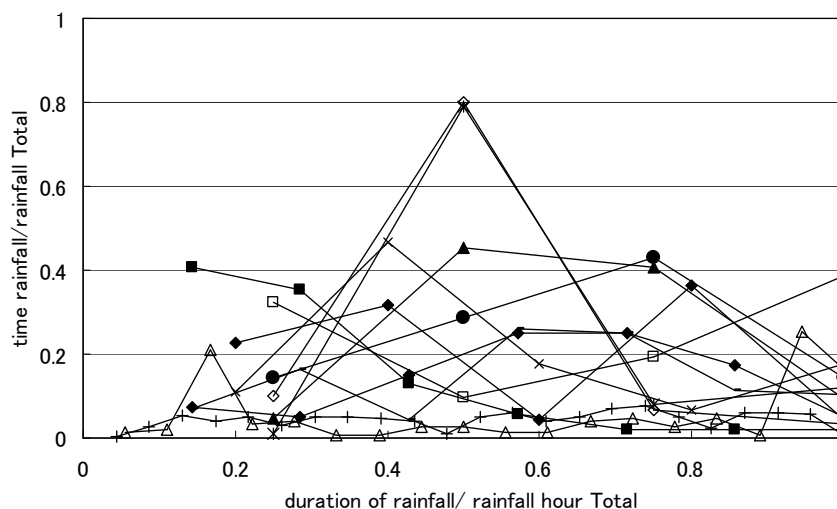


図 3.5 時間経過に対する降雨量の割合

以上から、スコピエ市における降雨の大部分は、しとしとした弱い雨が短時間に降っている状況である。

(2) 雨水量の算定

スコピエ市では分流式下水道として整備を進めているが、中央処理区における雨水管の整備率は現在 30%程度であり今後も急速な整備の進捗は望めない。降雨の一部は污水管に流入しており、完全分流式下水道として整備されるまでの間、污水管を経て処理場に流入する雨水については暫

定的に処理を行うこととする。

ただし、降雨の全量进行处理することは施設規模が膨大になるため、降雨初期の負荷量の多いファーストフラッシュについて処理を行うこととした。このため、連続して降った降雨の1時間分をファーストフラッシュ相当量として位置づけ雨水処理量を決定した。なお、非常時の対策として、それ以上の雨水が処理場に流入した場合には、最初沈殿池で沈殿し塩素混和池に流入させるバイパス経路を確保しておくことが望ましい。

処理場に流入する雨水量は合理式によって推定する。

$$Q = (1/360) \times C \times I \times A$$

C : 流出係数(0.6,スコピエ市計画)

I : 平均降雨強度(mm/hr)

A : 流入面積(ha)

ここで、平均降雨強度について、2003年から2007年においてスコピエ市で計測された218降雨のデータから、平均降雨強度の中央値である1.0mm/hrとする。

流入面積について、処理区全域の面積を72.8 km²とする。但し、雨水管整備率が全域の30%程度であるため、その区域の雨は雨水管へ流下するものと想定する。そのため、下水処理場へ流下する雨水の区域は下記のように算出される。

$$7,280 \text{ ha} \times 0.7 = 5,096 \text{ ha}$$

以上より、処理場に流入する流量は

$$Q = (1/360) \times C \times I \times A = (1/360) \times 0.6 \times 1.0 \text{ mm/hr} \times 5,096 \text{ ha} = 8.49 \text{ m}^3/\text{秒}$$

となる。よって、1時間あたりの処理場への流下量を以下に定める。

$$8.49 \text{ m}^3/\text{秒} \times 3,600 \text{ 秒} = 30,600 \text{ m}^3 \text{ (31,000 m}^3 \text{ とする)}$$

3.2.4 処理区別計画汚水量

表 3.22 に処理区別計画汚水量を示す。

表 3.22 処理区別計画汚水量

	(m ³ /日)		
	2006 年	2020 年	2030 年
中央処理区			
生活汚水量	89,450	102,720	111,130
工場廃水量	23,450	32,300	34,840
雨水量	31,000	31,000	31,000
合 計	143,900	166,020	176,970
Saraj 処理区			
生活汚水量	7,730	10,500	12,560
合 計	7,730	10,500	12,560
North Gorce Petrov 処理区			
生活汚水量	1,960	2,640	3,220
合 計	1,960	2,640	3,220
Dracevo 処理区			
生活汚水量	7,130	7,980	8,640
合 計	7,130	7,980	8,640

3.3 下水の水質、汚濁負荷量

3.3.1 生活汚水の汚濁負荷量

(1) 一人一日あたり汚濁負荷量原単位

都市排水の処理に関する EU 指令 (91/271 下水処理) では、一人一日あたりの BOD 汚濁負荷量として 60g/人日を標準値としている。個々の都市が計画を立案するにあたり標準値を使用しがたい場合には、標準値以外の値の使用を認めているが、その場合は明確な根拠を求めている。なお、SS に関する規定は定められていない。

現在、スコピエ市の生活汚水は多数の放流口からバルダル川に排出されているが、多くは工場廃水が混合しており生活汚水の汚濁負荷量原単位の算出には適さない。しかし、Dracevo 地区はスコピエ市中心部の住宅地、工場地帯から離れており、農地を挟み形成されている住宅地であることから工場廃水の混入はないと見なすことができる。このため、生活汚水の汚濁負荷量原単位の現状として Dracevo 地区の汚水の水質を検討する。スコピエ下水道公社による同地区の水質調査結果、および、第 3 章 3.2 で定めた一人一日あたり生活汚水量、200 リットル/人日を用いて算定した生活汚水の汚濁負荷量原単位を表 3.23 に示す。

表 3.23 Dracevo 地区の汚水の水質による汚濁負荷量原単位

	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年
(1) BOD					
水質 (mg/l)	129	123	176	157	157
汚水量原単位 (lpcd)	200				
汚濁負荷量原単位 (g/人・日)	26	25	35	31	31
(2) SS					
水質 (mg/l)	204	198	180	241	188
汚水量原単位 (lpcd)	200				
汚濁負荷量原単位 (g/人・日)	41	40	36	48	38

出典: スコピエ上下水道公社

この調査結果によれば、2002 年から 2006 年の 5 年間の BOD 汚濁負荷量原単位の平均値は 30g/人日、SS 汚濁負荷量原単位は 41g/人日である。算定された BOD 汚濁負荷量原単位は EU 指令の標準値の 1/2 である。しかし、測定時の状況が不明であり測定回数も月 1 回と少ないことから EU の標準値（60g/人日）を用いないことの説明としては十分でない。

一方、2008 年に稼働した Kumanovo 市（人口約 11 万人の地方都市）の下水処理場の流入下水データによれば、2008 年 8 月の BOD 汚濁負荷量原単位は平均で 40g/人日、7 月の終わりと 8 月の初めにかけては最大 60g/人日と EU 指令の標準値に近い値を示した。Struga 及び Ohrid の共同処理場においても 60g/人日を超す値が記録されている。従い、BOD 汚濁負荷量原単位については、EU 指令の標準値 60g/人日とし、SS 汚濁負荷量原単位については、ここ数年変化がないことからこの 5 年間の平均値 41g/人日から大きくは増加しないと想定し 45g/人日とする。表 3.24 に生活污水の汚濁負荷量原単位を示す。

表 3.24 生活污水の汚濁負荷量原単位

	(g/人日)		
	2006 年	2020 年	2030 年
BOD 汚濁負荷量原単位	30	60	60
SS 汚濁負荷量原単位	41	45	45

(2) 生活污水の汚濁負荷量

処理区別の生活污水汚濁負荷量を表 3.25 に示す。

表 3.25 処理区別生活污水の汚濁負荷量

	単位	2006 年	2020 年	2030 年
(1) 中央処理区				
処理区域内人口	人	447,235	513,570	555,650
BOD 汚濁負荷量	kg/日	13,417	30,814	33,339
SS 汚濁負荷量	kg/日	18,337	23,111	25,004
(2) Saraj 処理区				
処理区域内人口	人	38,628	52,500	62,800
BOD 汚濁負荷量	kg/日	1,159	3,150	3,768
SS 汚濁負荷量	kg/日	1,584	2,363	2,826
(3) North Gorce Petrov 処理区				
処理区域内人口	人	9,800	13,200	16,100
BOD 汚濁負荷量	kg/日	294	792	966
SS 汚濁負荷量	kg/日	402	594	725
(4) Dracevo 処理区				
処理区域内人口	人	35,670	39,900	43,200
BOD 汚濁負荷量	kg/日	1,070	2,394	2,592
SS 汚濁負荷量	kg/日	1,462	1,796	1,944

3.3.2 工場廃水の水質と汚濁負荷量（中央処理区）

(1) 2007 年の工場廃水の水質と汚濁負荷量および水質

図 3.3 に示す基本計画区域内の 50 工場を対象に実施した工場調査をもとに汚濁負荷量を推定した。

調査した 50 工場の廃水量および汚濁負荷量は表 3.26 のように推定された。

表 3.26 現況工場廃水汚濁負荷量 (2007 年)

	廃水量 (m ³ /日)	水質(mg/l)		汚濁負荷量(kg/日)	
		BOD	SS	BOD	SS
工場対象 50 工場	28,464	142	262	4,039	7,447

一方、表 3.18 で述べた大規模 6 工場からの廃水は下水道に受け入れない。これら 6 つの工場の廃水量、汚濁負荷量は表 3.27 のとおりである。詳細は Appendix Part I, 3.3 を参照のこと。

表 3.27 下水道に接続しない工場の汚濁負荷量 (2007 年)

	廃水量 (m ³ /日)	水質(mg/l)		汚濁負荷量(kg/日)	
		BOD	SS	BOD	SS
(1) ArcelorMittal Steel (製鉄)	5,714	60	500	343	2,857
(2) Makstil (製鉄)	4,174	60	150	250	626
(3) Energetika – ELEM	172	20	50	3	9
(4) Skopski Leguri (製鉄)	5,566	20	70	111	390
(5) Pivara (飲料水製造)	1,427	850	130	1,213	186
(6) Ohis AD (化学、他)	2,442	100	80	244	195
合 計 / 平 均	19,495	111	219	2,165	4,263

下水道に接続する工場の廃水量、汚濁負荷量は、全 50 工場と大規模 6 工場の差であり、表 3.28 に示すとおりである。下水道に接続する工場の水質は BOD 209 mg/l、SS 355 mg/l である。

表 3.28 下水道に接続する工場の汚濁負荷量 (2007 年)

	廃水量 (m ³ /日)	水質(mg/l)		汚濁負荷量(kg/日)	
		BOD	SS	BOD	SS
聞き取り対象 50 工場	28,464	142	262	4,039	7,447
下水道に接続しない 6 工場	19,495	111	219	2,165	4,263
下水道が受け入れる工場	8,969	209	355	1,875	3,184

(2) 将来の工場廃水の水質と汚濁負荷量および水質

工場廃水の将来の水質は CP の実施により、2007 年の水質、BOD209 mg/l、SS355 mg/l をベースに、2020 年には 20%、2030 年には 35%の改善が見込まれる。表 3.29 に工場廃水の将来水質と将来汚濁負荷量を示す。2006 年の水質は 2007 年と等しいとした。

表 3.29 工場廃水の水質と汚濁負荷量（中央処理区）

	2006年	2007年	2020年	2030年
(1) 工場廃水量 (m ³ /日)	23,450	24,300	32,300	34,840
(2) BOD汚濁負荷量				
CPによる水質低減率	0%	0%	20%	35%
BOD 濃度 (CP考慮後) (mg/l)	209	209	167	136
BOD 汚濁負荷量 (kg/日)	4,901	5,079	5,399	4,732
(3) SS汚濁負荷量				
CPによる水質低減率	0%	0%	20%	35%
SS 濃度 (CP考慮後) (mg/l)	355	355	284	231
SS 汚濁負荷量 (kg/日)	8,325	8,623	9,175	8,041

3.3.3 雨水の水質と汚濁負荷量

下水管に流入する雨水の水質は、日本下水道協会「合流式下水道改善対策指針と解説」を参考に、表 3.30 のように定めた。

表 3.30 雨水の水質と汚濁負荷量

	雨水量	水質	汚濁負荷量
BOD	31,000 m ³ /日	110 mg/l	3,410 kg/日
SS		400 mg/l	12,400 kg/日

注：BOD、SS 濃度は初期降雨の値。

3.3.4 下水処理場流入汚水量、汚濁負荷量及び流入水質

表 3.31 に下水処理場別に流入下水量、汚濁負荷量及び流入水質を示す。

表 3.31 下水処理場流入汚水量、汚濁負荷量及び流入水質

(1) 中央処理区

	2006年	2020年	2030年
流入下水量 (m ³ /日)	143,900	166,020	176,970
BOD汚濁負荷量			
生活汚水 (kg/日)	13,417	30,814	33,339
工場廃水 (kg/日)	4,901	5,399	4,732
雨水 (kg/日)	3,410	3,410	3,410
汚濁負荷量計 (kg/日)	21,728	39,623	41,481
流入BOD水質 (mg/l)	151	239	234
SS汚濁負荷量			
生活汚水 (kg/日)	18,337	23,111	25,004
工場廃水 (kg/日)	8,325	9,175	8,041
雨水 (kg/日)	12,400	12,400	12,400
汚濁負荷量計 (kg/日)	39,062	44,686	45,445
流入SS水質 (mg/l)	271	269	257

(2) Saraj 処理区

	2006年	2020年	2030年
流入下水量 (m ³ /日)	7,730	10,500	12,560
BOD汚濁負荷量 (kg/日)	1,159	3,150	3,768
流入BOD水質 (mg/l)	150	225	225
SS汚濁負荷量 (kg/日)	1,584	2,363	2,826
流入SS水質 (mg/l)	205	225	225

(3) North Gorce Petrov 処理区

	2006年	2020年	2030年
流入下水量 (m ³ /日)	1,960	2,640	3,220
BOD汚濁負荷量 (kg/日)	294	792	966
流入BOD水質 (mg/l)	150	225	225
SS汚濁負荷量 (kg/日)	402	594	725
流入SS水質 (mg/l)	205	225	225

(4) Dracevo 処理区

	2006年	2020年	2030年
流入下水量 (m ³ /日)	7,140	7,980	8,640
BOD汚濁負荷量 (kg/日)	1,070	2,394	2,592
流入BOD水質 (mg/l)	150	225	225
SS汚濁負荷量 (kg/日)	1,462	1,796	1,944
流入SS水質 (mg/l)	205	225	225

第4章 バルダル川の汚濁解析

本調査は、スコピエ市の中心部を流れるバルダル川の水質改善が上位目標となっている。このため、下水幹線管きょの布設、下水処理場の運転、工場廃水規制の実施によるバルダル川の水質改善効果は事業の重要な評価指標である。水質改善効果の評価のためバルダル川を対象に水質汚濁解析を実施する。目標年次 2020 年時点での下水道整備の状況、工場廃水対策進捗状況、下水処理レベルを各種設定して汚濁解析を行い、バルダル川の将来水質を推定する。

4.1 バルダル川とその支流の状況

4.1.1 バルダル川の流況

汚濁解析は低水流量を対象に行うが、第2章 2.2 に示した流況データによれば、低水流量は概ね7月～8月の流量に相当する。下の写真は低水（275 日）流量時¹と豊水（95 日）流量時のバルダル川、Stone Bridge 付近の様子である。詳細は Appendix Part I, 2.1 を参照。



7 月～8 月のバルダル川（低水量時）



11 月～12 月のバルダル川（豊水量時）

バルダル川の流況を表 4.1 に低水（275 日）流量と渇水（355 日）流量を示す。

表 4.1 バルダル川、Treska 川、Lepenec 川の流量

	バルダル川			(m ³ /秒)	
	Vlae	Skopje	Taor	Treska川	Lepenec川
低水（275日）流量	19.6	25.7	29.8	8.4	3.9
渇水（355日）流量	12.1	15.1	18.9	5.5	2.4

¹ 豊水量、平水量、低水量、渇水量とは各々、河川の表流水が1年を通じて95、185、275、355日間この水量より少なくならないという水量。

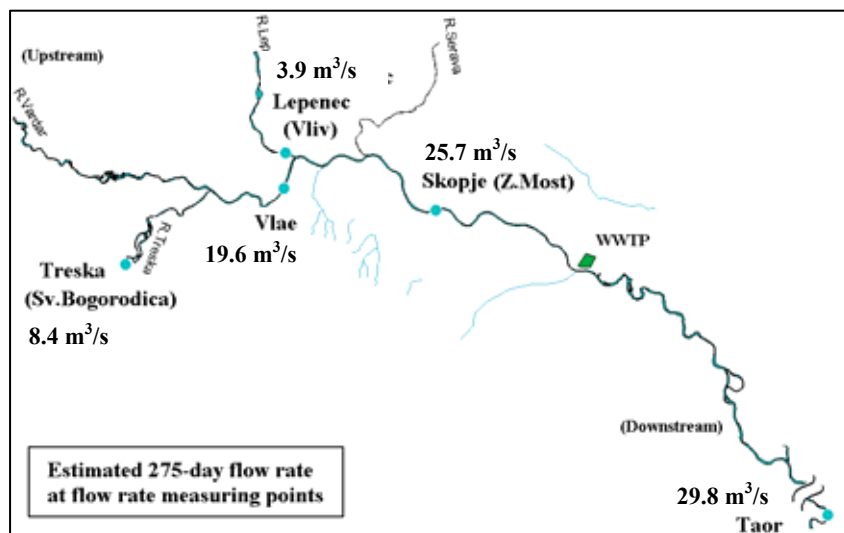


図 4.1 バルダル川、Treska 川、Lepenec 川の流量

汚濁解析では境界条件としてバルダル川（Rasce）、Treska 川、Lepenec 川の流量を境界条件として用いるが、解析区間の上流端（バルダル川 Rasce 地点）の流量は、Treska 川合流点下流の Vlae 地点の流量から Treska 川の流量を差し引いた値とした。表 4.2 にバルダル川（Rasce）、Treska 川、Lepenec 川の流量（境界条件）を示す。

表 4.2 バルダル川とその支川の流況（境界条件）

河川	地点	低水流量	渇水流量	備考
バルダル川	Rasce	11.2	6.6	バルダル川Vlae流量 - Treska川流量 低水: 19.6-8.4 = 11.2 渇水: 12.1-5.5 = 6.6
Treska川	上流	8.4	5.5	
Lepenec川	上流	3.9	2.4	

4.1.2 バルダル川、Treska 川、Lepenec 川の水質、汚濁負荷量

バルダル川の水質の状況については第 2 章 2.3 で検討した。汚濁解析では境界条件としてバルダル川、Treska 川、Lepenec 川の上流での水質が必要である。現況の汚濁解析では観測値を、目標年次(2020 年)の汚濁解析ではスコピエ市の上流部においても何らかの汚濁負荷削減対策がなされ、水質環境基準が守られていると仮定し、水質境界条件として水質環境基準値（BOD 4mg/l）を用いる。表 4.3 に水質境界条件を示す。

表 4.3 バルダル川とその支川の水質、汚濁負荷量（境界条件）

河川	地点	低水流量 (m³/秒)	BOD水質 (mg/l)		汚濁負荷量 (kg/日)	
			現況(2006年)	2020年	現況(2006年)	2020年
バルダル川	Rasce	11.2	2.5	4.0	2,419	3,871
Treska川	上流	8.4	2.3	4.0	1,669	2,903
Lepenec川	上流	3.9	2.1	4.0	708	1,348

4.2 スコピエ市付近の汚濁負荷源

汚濁負荷発生源は点源汚濁負荷と面源汚濁負荷に分けて考えることができる。

スコピエ市では下水道管は市街地の大部分で整備されているが下水処理場は設置されておらず、市内で発生する生活污水、工場廃水とも未処理のままバルダル川へ排出されている。生活污水と大規模工場以外の工場廃水は2ヶ所の下水道幹線排水口またはその他の小規模の排水口から、大規模工場の廃水は専用の排水口からバルダル川へ排出されている。したがって、点源汚濁負荷は次のように整理される。

- ① 下水道幹線排水口を通じてバルダル川に排出される生活污水と工場廃水
- ② 小規模排水口を通じてバルダル川に排出される生活污水と工場廃水
- ③ 工場の専用管にてバルダル川へ排出される大規模工場の廃水

面源汚濁負荷としては下水道管の未整備の地域の生活污水の汚濁負荷と自然汚濁負荷を計上する。スコピエ市の都市計画区域内には灌漑農業地区はなく、ごく一部の地域で畑作を行っている程度である。従って、この汚濁解析では農業由来の汚濁負荷は考慮しない。なお、スコピエ市都市計画区域外の上流域と下流域では灌漑農業が行われている。

- ① 自然汚濁負荷
- ② 下水道整備区域外の生活污水の汚濁負荷

4.2.1 点源汚濁負荷発生源

(1) 調査区域内の点源汚濁負荷源の位置

スコピエ市を貫流するバルダル川の両岸には大小、未使用も含めて約50ヶ所(詳細はAppendix Part I, 2.7を参照のこと)の汚水用、雨水用の排水口があるが、図4.1に示すように、その多くは市中心部、地点Aから地点Eの区間に集中している。下水道幹線はバルダル川左岸側、右岸側に各1本あり、その排水口は地点Cと地点Dである。右岸側の下水道幹線の排水口は汚水用の排水口としては流量が最大で、夏場の排水量は31,000 m³/日である。また、Arcelomittal Steel、Makstilなどの鉄鋼関連4工場の専用排水口が左岸側、地点Eにあり、その排水量は80,700 m³/日と調査区域内で最大である。

後述する汚濁解析モデルでは、下水道幹線の排出口2ヶ所、鉄鋼工場の専用排出口、さらに将来設置される下水処理場を点源として、その他の中小の排出口を市中心部に連続的に分布する汚濁源として表現する。

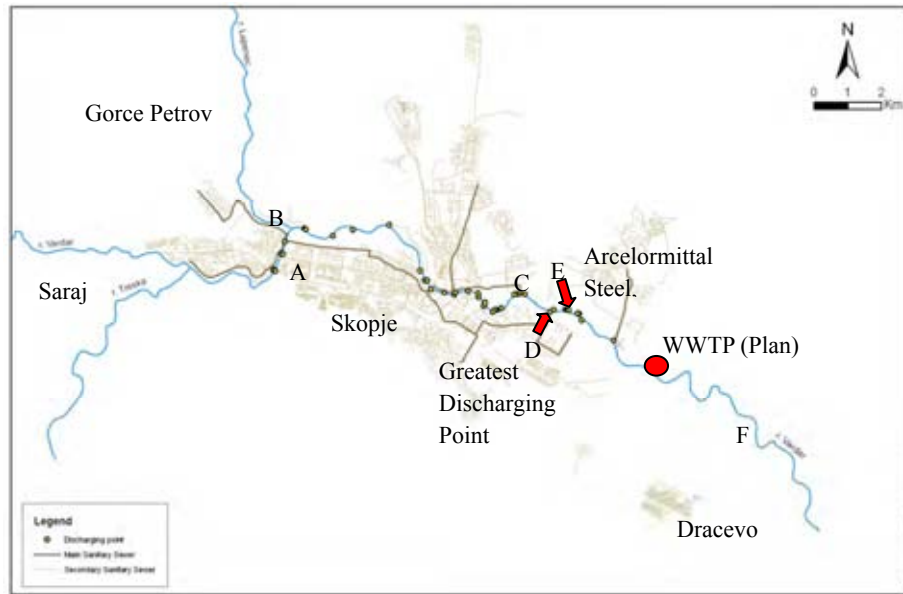


図 4.2 生活污水および工場廃水の排水口の位置



地点 A. UN Bridge (スコピエ市上流)



地点 B. Lepenec 川 (流入河川)



地点 C. Keramidnica (左岸最大污水吐口)



地点 D. Blvd Serbia, Bridge (右岸最大污水吐口)



地点 E. 鉄鋼関連会社排水



地点 F. Taor (水質環境基準地点)

(2) 点源汚濁負荷の現況

現在、スコピエ市では水文気象研究所（HMI）が定期的に河川の水量と水質のモニタリングを行っている。また、スコピエ衛生研究所（CHPI）が河川水質、スコピエ上下水道公社（Vodovod）が河川水質、汚水排水口、工場排水口で水質のモニタリングを行っている。図 4.3 に各機関によるモニタリングポイントを示す。各機関の水質データについては Appendix Part I, 2.4 を参照のこと。

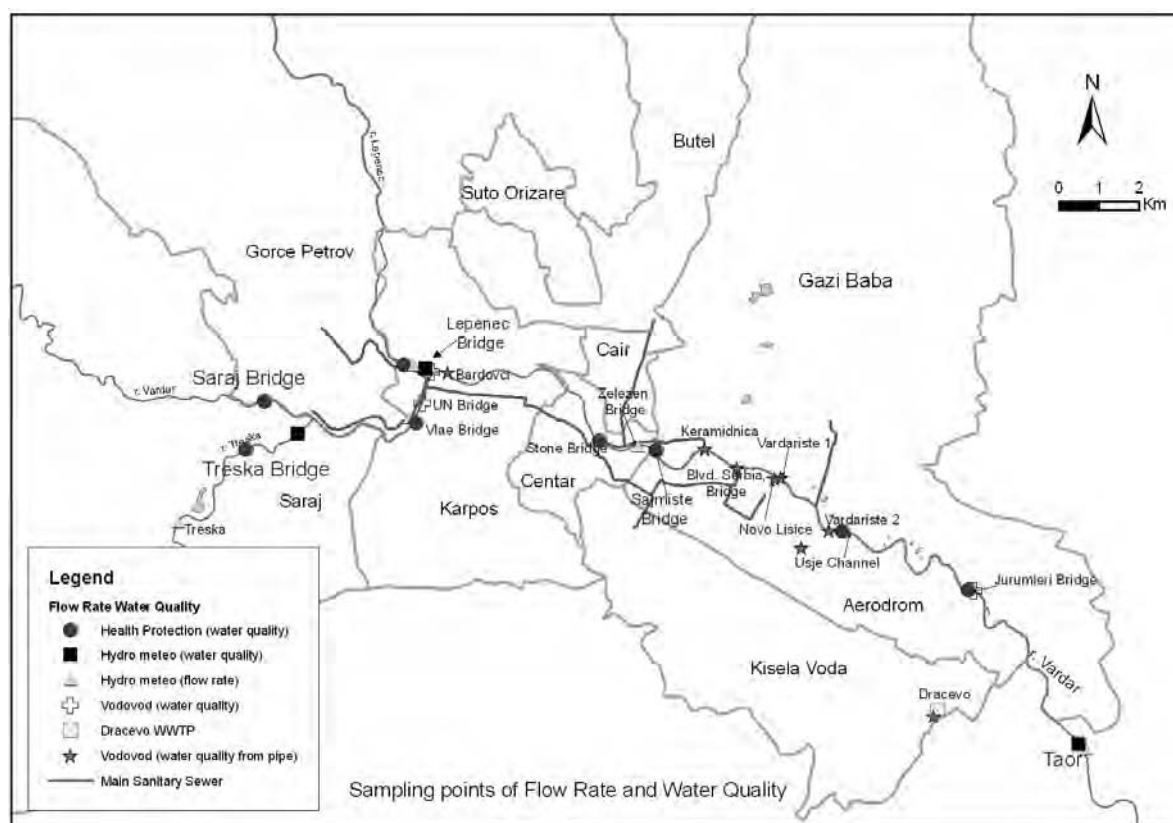


図 4.3 各水質分析機関によるモニタリングポイント

表 4.4 は、スコピエ上下水道公社および現地再委託調査（2007 年 11～12 月実施）による汚水排水口と工場排水口の水量と水質測定の結果にもとづいて算出した、日平均の排水量および BOD 汚

濁負荷量である。この調査結果によれば、現況では生活污水と工場廃水を合わせて 183,623 m³/日 が直接バルダル川へ排出されている。このうちの 80,784m³/日は鉄鋼関連工場（Arcelormittal Steel, Makstil 等）の専用排水口のもので排水量全体の 44%を占める。

表 4.5 にスコピエ上下水道公社の給水量を示すが、この給水量と表 4.4 の排水量がおおむね一致しており、散水、地下浸透、蒸発等を考慮すれば排水量 183,623 m³/日は妥当なものと判断できる。

表 4.4 バルダル川低水量時の発生汚水量および発生負荷量（計測値）

	排水量	BOD発生負荷量
汚水/工場廃水の混合（污水管）	102,839 m ³ /日	9,322 kg/日
工場廃水（鉄鋼関連専用管）	80,784 m ³ /日	4,847 kg/日
合 計	183,623 m ³ /日	14,169 kg/日

注：上記排水量は主要吐き口調査（Appendix I.10.2 参照）に基づくもので、多くの吐き口（Appendix I.2.7 参照）から排出される排水量は含まれていない。

表 4.5 スコピエ上下水道公社による年平均給水量（2006 年）

	日平均給水量	備 考
上水道	111,000 m ³ /日	総給水量
大規模工業用水（Rasce）	78,000 m ³ /日	鉄鋼関連工場専用
合 計	189,000 m ³ /日	

出典：スコピエ上下水道公社年報（ただし、大規模工業用水は公社の管轄外（工場独自の水道）である）

4.2.2 面源汚濁負荷発生源

(1) 自然汚濁負荷

面源汚濁負荷量の評価は河川と閉鎖性水域で異なる。河川の汚濁解析においては、自然汚濁負荷量として流域全体について BOD 0.5～1.0kg/日・km²程度を見込むものに対して、閉鎖性水域の汚濁解析においては、農地、市街地、山林、降雨等毎に汚濁負荷量を算出し、原単位は降雨時流出分を含んだ年間平均値等を用いる。

本調査の汚濁解析は河川の水質が悪化する低水量時かつ晴天時のため、雨天時の汚濁負荷量については検討の対象外とする。表 4.6 に示すように、「流域別下水道整備総合計画調査・指針と解説」に従い計算すると面源負荷量原単位は BOD 0.45 kg/日・km²となる。また、同指針によれば自然汚濁負荷量原単位は概ね BOD 0.5～1.0 kg/日・km²である。表 4.6 に示すようにバルダル川流域での計算値と指針値が近似していることから、自然汚濁負荷量原単位 BOD 0.5kg/日・km²を用いて自然汚濁負荷を算定する。

表 4.6 バルダル川流域の自然汚濁負荷量原単位

流域面積 (km ²)	平均流量 (m ³ /s)	比流量 (l/s・km ²)	面源汚濁負荷量 原単位 (kg/日・km ²)	備 考
20,655	135.96	6.58	0.45	L= 0.0702 × q ^{0.9671} L: 原単位 (kg/日・km ²) q: 比流量 (l/s・km ²)

出典：Statistical Yearbook of the Republic of Macedonia, 2007

(2) 下水道整備区域外の生活污水の汚濁負荷

スコピエ市の市街地の多くは下水道計画区域に含まれるが、Gazi Baba 区の一部が下水道計画区域外となる。この区域の生活污水の汚濁負荷を自然汚濁負荷として計上する。

4.3 汚濁解析モデル

4.3.1 汚濁解析モデルの概要

バルダル川へ排出される汚濁負荷の削減のために計画される、工場廃水規制、下水処理場の建設の効果を推定するため汚濁解析を行う。スコピエ市付近におけるバルダル川の水質状況を推定するため、スコピエ市の上流の Rasce から下流の水質観測点 (Toar) の間、約 40.6 km を解析の対象とした。解析の対象水質項目は BOD とした。表 4.7 に汚濁解析モデルの概要を示す。

表 4.7 汚濁解析モデルの概要

項 目	説 明
解析対象水質項目	BOD
解析ツール	QUAL2K (US-EPAが公開している河川汚濁解析プログラム)
解析の基本式	一次減少反応式 (Streeter-Phelps Equation) $dC/dt = -k \times C$ C : BOD濃度 (mg/l) t : 時間 (日) k : 浄化係数 (1/日)
浄化係数	スコピエ市を流れるバルダル川には兩岸あわせ約50ヶ所の吐き口がある。また、スコピエ市上流域のVlae Bridgeから環境基準点Taorまでの流下時間はわずか6時間であり、汚水および工場廃水の流入が多いため浄化係数 k の算定は困難であるものの、BOD汚濁負荷量で物質収支を取り、概算で計算した場合はスコピエ市上流域が $k=1.74$ 、中流域が $k=1.18$ となった。よって、汚濁解析では上流域と中流域の平均値である $k=1.46$ を採用する。算定根拠はAppendix Part I, 4.1を参照のこと。
解析する区間	バルダル川 スコピエ市下水道計画区域に対応する2つの水質測定点の間 上流端：Rasce (環境基準点、水質測定点) 下流端：Taor (環境基準点、水質測定点) 区間長さ：約40.6 km
解析年次	(1) 現況(2006年) (2) 目標年次(2020年)
考慮する汚濁	(1) 河川上流端での汚濁 (バルダル川、Treska川、Lepenec川) (2) 生活污水 (3) 工場廃水 (4) 下水処理場 (将来) (5) 面源汚濁 (自然汚濁、下水処理区外の生活污水)
解析のシナリオ	排出汚濁削減対策の効果の検証 (1) 工場廃水規制 (2) 下水処理施設の稼働 - 中央下水処理場 - Saraj, North Gorce Petrov, Dracevo 下水処理場 (3) 下水処理の程度 (一次処理、二次処理)

4.3.2 河川モデル

前項に示した、バルダル川、Treska 川、Lepenec 川の状況、生活污水および工場廃水の汚濁負荷の各河川への排出地点、将来の下水処理場の位置を勘案して図 4.4 に示す河川モデルを作成した。

表 4.8 にはこの汚濁解析で考慮する、生活污水、工場廃水、下水処理場、面源汚濁の一覧を示す。

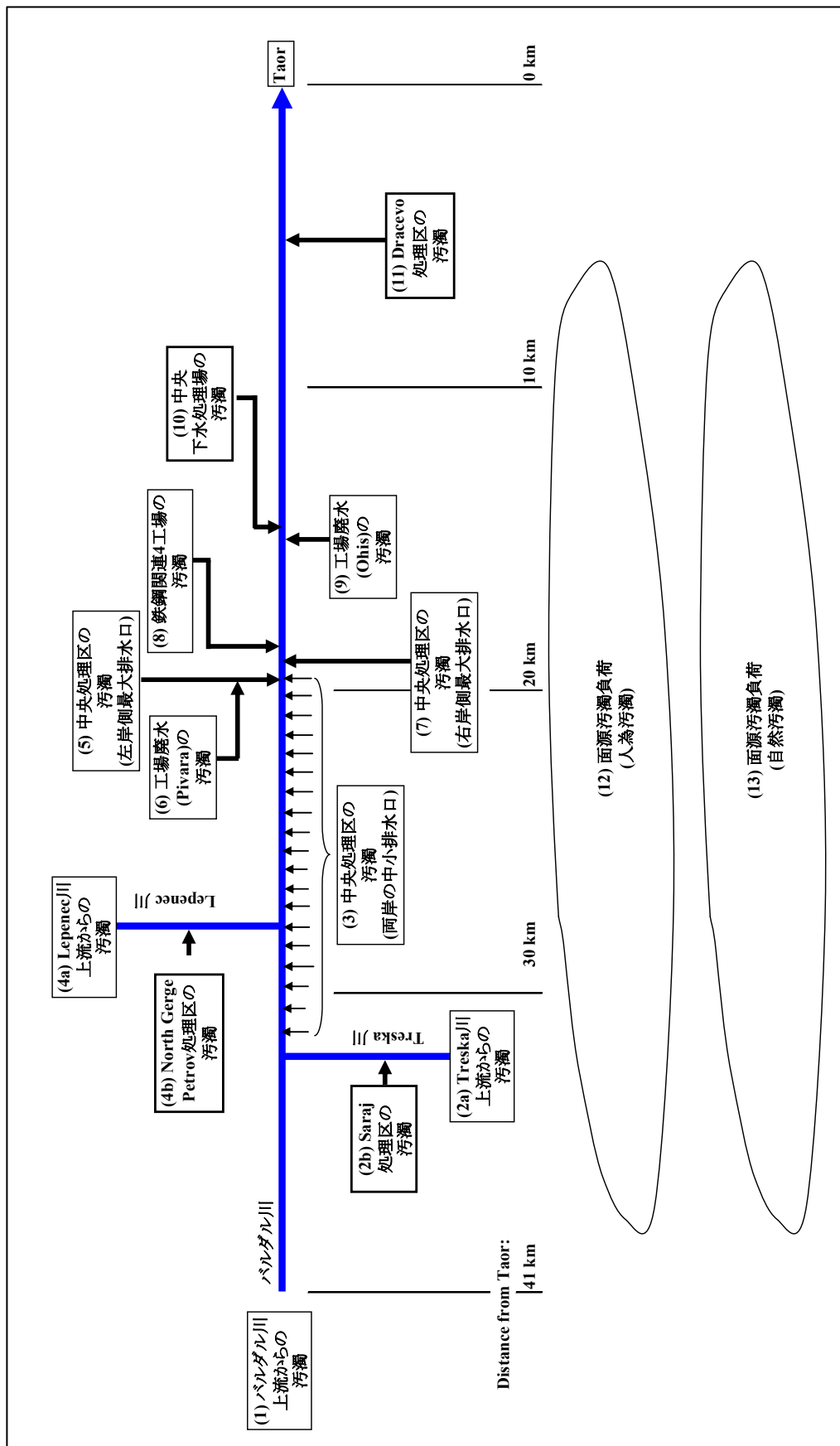


図 4.4 汚濁解析河川モデル図

表 4.8 汚濁負荷源の一覧

排出位置	種別	汚濁負荷源	Taorからの距離 (km)	備 考
1	河川	バルダル川、上流からの汚濁	40.60	調査区域外から流入する汚濁、Rasce地点
2 a	河川	Treska川の汚濁	32.99	調査区域外から流入する汚濁
2 b	点源	Saraj 処理区の汚濁		Treska川に流入後、バルダル川へ流入
3	点源汚濁	中央処理区の汚濁	32.99 ~ 18.93	左記の区間に位置する バルダル川両岸の中小の排水口
4 a	河川	Lepenec River川の汚濁	28.46	調査区域外から流入する汚濁
4 b	点源汚濁	North Gorce Petrov処理区の汚濁		Lepenec川に流入後、バルダル川へ流入
5	点源汚濁	中央処理区(左岸側)の汚濁	19.89	左岸側の下水道幹線の排水口
6	点源汚濁	工場廃水(Pivara) の汚濁		下水道に接続しない工場
7	点源汚濁	中央処理区(右岸側)の汚濁	18.93	右岸側の下水道幹線の排水口
8	点源汚濁	鉄鋼関連4工場の工場廃水の汚濁	18.47	下水道に接続しない工場
9	点源汚濁	工場廃水(Ohis)の汚濁	15.86	下水道に接続しない工場
10	点源汚濁	中央下水処理場の汚濁	15.51	将来のみ
11	点源汚濁	Dracevo処理区の汚濁	5.64	水路に流入後、バルダル川へ流入
12	面源汚濁	人為汚濁	40.60 ~ 0.00	区間全域に配分
13	面源汚濁	自然汚濁	40.60 ~ 0.00	区間全域に配分

注) 表中の排出位置番号は図 4.4 中の番号に対応

4.4 現況および目標年次における汚濁負荷量

4.4.1 汚濁削減のシナリオ

本調査では、将来予定される汚濁削減対策の効果の検証を目的として、表 4.9 に示す現況と 2020 年について 5 つのケース、合わせて 6 ケースの汚濁解析を行う。Case-1 は汚濁削減対策を実施しない場合の水質状況を、Case-2~Case-5 は各種の汚濁削減対策を実施した場合の 2020 年の水質状況を解析するものである。

表 4.9 目標年次における汚濁削減のシナリオ

	タイトル	工場廃水 規制	下水処理場の稼働		汚濁削減対策内容
			中央下水 処理場	その他の 処理場	
現況 (2006年)		規制なし	なし	なし	現 況
目標年次 (2020年)					
Case-1	汚濁削減対策 なし	規制なし	なし	なし	汚濁削減対策を実施しない
Case-2	工場廃水規制あり	全工場	なし	なし	下水処理場を設置しない、 全工場に対し排水規制を実施
Case-3	中央下水処理場で 一次処理	大規模 6工場	一次処理	なし	大規模6工場以外の工場廃水は下水道へ 中央下水処理場で一次処理 大規模6工場を対象に排水規制を実施
Case-4	中央下水処理場で 二次処理	大規模 6工場	二次処理	なし	大規模6工場以外の工場廃水は下水道へ 中央下水処理場で二次処理 大規模6工場を対象に排水規制を実施
Case-5	全下水処理場で 二次処理	大規模 6工場	二次処理	二次処理	大規模6工場以外の工場廃水は下水道へ 中央下水処理場とその他の処理場で二次処理 大規模6工場を対象に排水規制を実施

注)

- その他の処理場とは、Saraj 処理区の村落の処理場、North Gorce Petrov 下水処理場、Dracevo 下水処理場
- 工場廃水規制時の工場廃水の水質は BOD 25mg/l
- 中央下水処理場で、一次処理水質は BOD 40%除去として、 $239 \times (1-0.4) = 143 \text{ mg/l}$
- 全ての下水処理場で、二次処理水質は EUR 指令の BOD 25mg/l

4.4.2 発生汚濁負荷量

現況および将来の発生汚濁負荷量は表 4.10 に従い次のように算定する。

- (1) 生活汚水発生汚濁負荷量 = 人口×汚濁負荷量原単位
- (2) 工場廃水発生汚濁負荷量 = 工場廃水量×廃水水質
- (3) 面源汚濁負荷(人為汚濁)発生汚濁負荷量 = 人口×汚濁負荷量原単位
- (4) 面源汚濁負荷(自然汚濁)発生汚濁負荷量 = 面積×汚濁負荷量原単位

表 4.10 将来発生汚濁負荷量の算定方法

項 目				将来汚濁負荷量の算定方法	
				現 況	目標年次(2020年)
点源汚濁	生活汚水	人口		表3.12 に示す人口	
		汚濁負荷量原単位		30g/人・日	60g/人・日
	工場廃水	大規模6工場 (バルダル川へ排出)	廃水量	排水口調査値	現在の給水量が限界、現況と同じ
			水 質	工場調査値	現況と同じ
		その他工場	廃水量	工場調査値	工業成長に従い増加、3.5%/年成長
			水 質	工場調査値	現況と同じ
面源汚濁	人為汚濁 (生活汚水)			上段の生活汚水と同じ	
	自然汚濁			面源汚濁負荷量原単位: 0.50 kg/日・km ² 調査対象面積: 355 km ²	

注) 生活汚水の汚濁負荷量原単位の現況値は 2006 年の値
工場廃水調査は 2007 年に実施

4.4.3 排出汚濁負荷量

排出汚濁負荷量は各発生源において発生する汚濁負荷のうち実際に排出される負荷量をいい、家庭に腐敗槽が設置されている場合や、工場内の除害施設で処理を行う場合には処理後に排出される負荷量である。なお、下水道未整備区域、下水道計画区域外の家庭では浄化施設を有する場合もあるが運転管理状況が明かでないため、排出汚濁負荷量は発生汚濁負荷量に等しいとした。

表 4.11 排出汚濁負荷量の算定方法

		区 分		排出汚濁負荷量	備 考
点源汚濁	生活汚水	下水道整備区域		-	下水処理場の負荷として考慮
		下水道未整備区域		発生汚濁負荷量と同じ	
	工場廃水	大規模6工場 (バルダル川へ排出)	排水規制なし	発生汚濁負荷量と同じ	ただし、鉄鋼関係4社のBODは60mg/lとして算出
			排水規制あり	廃水量×排出規制水質	排出規制水質: BOD: 25 mg/l
		その他の工場		-	下水処理場の負荷として考慮
面源汚濁	人為汚濁 (下水道計画区域外の生活汚水)			発生汚濁負荷量と同じ	
	自然汚濁			発生汚濁負荷量と同じ	

4.4.4 流達汚濁負荷量

発生源から排出された汚濁負荷は水路、支川、下水管等を通り汚濁解析対象河川に達する。汚濁解析対象河川に達した汚濁負荷が流達負荷量である。流達汚濁負荷は、水路での沈殿、酸化、地下への浸透等の作用により、排出汚濁負荷量より小さくなる。流達汚濁負荷量の排出汚濁負荷量に対する比率(流達汚濁負荷量/排出汚濁負荷量)を流達率と呼ぶ。流達率は市街地の開発状況、水路や河川の整備状況により異なる。スコピエ市における流達率に関する調査は行われていない

ため、表 4.12 に示す流達率の標準的な値を参考に、この汚濁解析では表 4.13 に示す流達率を用いて流達汚濁負荷量を算定する。

表 4.12 流達負荷量の標準的な流達率

区分		流達率
農村部		0.0 – 0.2
市街地	周辺地区	0.1 – 0.6
	中心地区	0.6 – 1.0
下水道整備済みの地区		1.0

出典：流域別下水道整備総合計画調査指針/解説(平成 20 年)、日本下水道協会

表 4.13 本調査における流達率

		区 分		流達率	備 考
点源汚濁	生活汚水	中央処理区	下水道未整備区域	0.3	表4.12: 市街地周辺地区の中間値
			污水管布設済み区域 (現況)	0.8	表4.12: 市街地中心地区の中間値
			污水管布設済み区域 (将来)	1.0	表4.12: 下水道整備済みの地区
		その他の処理区	下水道計画区域 (現況)	0.3	表4.12: 市街地周辺地区の中間値
			下水道計画区域 (将来)	1.0	表4.12: 下水道整備済みの地区
	工場廃水	下水道に接続しない6工場		1.0	専用排水管で排出
		その他の工場	現 況	0.8	表4.12: 市街地中心地区の中間値
			下水道接続時	1.0	表4.12: 下水道整備済みの地区
面源汚濁	人為汚濁 (下水道計画区域外の生活汚水)			0.1	表4.12: 農村部の中間値
	自然汚濁			1.0	

4.4.5 各検討ケースにおける汚濁負荷量

(1) 現況（2006 年）の汚濁負荷量

現況（2006 年）の汚濁負荷量を表 4.14 に示す。現況では下水処理場は稼働していないので、生活汚水と専用排水口を持たない工場の廃水は下水道幹線排水口 2 ヶ所とその他の中小の排水口から、大規模工場の廃水は専用排水口から未処理のままバルダル川へ排出される。また、Saraj 処理区、North Gorce Petrov 処理区、Dracevo 処理区の汚水は未処理のまま近傍の河川へ排出される。

調査区域内の発生源からの排出汚濁負荷量は、点源汚濁が 27,094 kg/日、面源汚濁が 601 kg/日、総量で 27,695kg/日、バルダル川へ到達する流達汚濁負荷量は 20,543 kg/日である。

表 4.14 現況 BOD 汚濁負荷量 (2006 年)

	排出位置	人口 (人)	水量 (m ³ /日)	排出水質 (mg/l)	排出負荷量 (kg/日)	流達率	流達負荷量 (kg/日)
A. 点源汚濁負荷量							
1. 生活污水の汚濁負荷量 (未処理污水)							
(1) Saraj処理区	2b	38,628	7,726	150	1,159	0.30	348
(2) NGP処理区	4b	9,800	1,960	150	294	0.30	88
(3) 中央処理区	3,5,7	447,235	89,447	150	13,416	0.70	9,391
(4) Dracevo処理区	11	35,670	7,134	150	1,070	0.30	321
小 計		531,333	106,267		15,939		10,148
2. 工場廃水の汚濁負荷量 (中央処理区)							
(1) Pivara	6	-	1,377	850	1,170	1.00	1,170
(2) 鉄鋼関係4社	8	-	80,784	60	4,847	1.00	4,847
(3) Ohis	9	-	2,357	100	236	1.00	236
(4) その他	5,7	-	23,450	209	4,902	0.80	3,922
小 計			107,968		11,155		10,175
3. 下水処理場の汚濁負荷量							
(1) Saraj下水処理場	2b	-	-	-	-	-	-
(2) NGP下水処理場	4b	-	-	-	-	-	-
(3) 中央下水処理場	10	-	-	-	-	-	-
(4) Dracevo下水処理場	11	-	-	-	-	-	-
小 計		-	-	-	-	-	-
点源汚濁負荷計		531,333	214,235		27,094		20,323
B. 面源汚濁負荷量							
1. 生活污水汚濁負荷	12	14,102	2,820	150	423	0.10	42
2. 自然汚濁負荷	13	0.5×355 km ²			178	1.00	178
面源汚濁負荷計		14,102	2,820		601		220
合 計		545,435	217,055		27,695		20,543

注)

- (1) 排出位置番号は図 4.5 に対応
- (2) 中央処理区的生活污水の汚濁負荷は、「3(中小の排出口)」に 25%、「5(左岸幹線排出口)」に 37.5%、「7(右岸幹線排出口)」に 37.5%配分する
- (3) その他の工場廃水の汚濁負荷は、「5(左岸幹線排出口)」に 50%、「7(右岸幹線排出口)」に 50%配分する
- (4) 中央処理区的生活污水の流達率 (加重平均値) 0.70 は下表による

	流達率	面積比率	加重平均
下水道未整備区域	0.3	20%	0.3×20%+0.8×80%=0.70
污水管布設済み区域 (現況)	0.8	80%	

図 4.5 に生活污水と工場廃水のバルダル川への排出地点別の排出汚濁負荷量を示す。

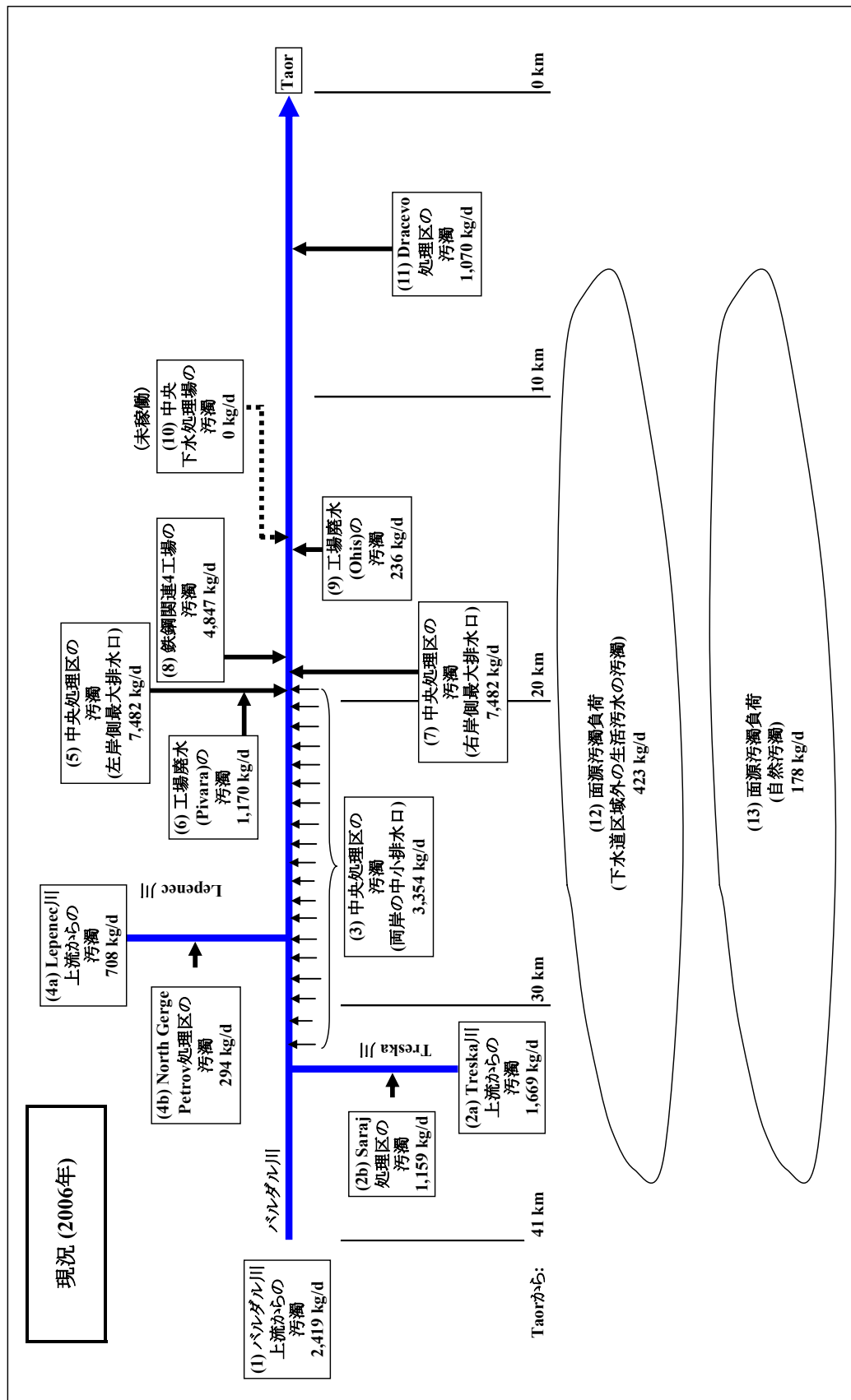


図 4.5 排出汚濁負荷の分布 現況(2006 年)

(2) 「Case-1: 汚濁削減対策なし（2020年）」の汚濁負荷量

「汚濁削減対策なし（2020年）」の汚濁負荷量を表 4.15 に示す。このケースは、下水処理場は設置しないので現況と同様に、生活污水と専用排水管を持たない工場の廃水は下水道幹線排水口 2ヶ所とその他の中小の排水口から、大規模工場の廃水は専用排水口から未処理のままバルダル川へ排出される。なお、Saraj 処理区、North Gorce Petrov 処理区、Dracevo 処理区の污水も現況と同様、未処理のまま近傍の河川へ排出される想定である。

調査区域内の発生源からの排出汚濁負荷量は、点源汚濁が 52,218 kg/日、面源汚濁が 1,126 kg/日、総量で 53,344kg/日である。現況（2006 年）に比較して約 1.9 倍となるが、これは生活污水の汚濁負荷量原単位が上昇するとの想定による。なお、バルダル川へ到達する流達汚濁負荷量は 37,223 kg/日である。

表 4.15 「Case-1: 汚濁削減対策なし（2020年）」の BOD 汚濁負荷量

	排出位置	人口(人)	水量(m ³ /日)	排出水質(mg/l)	排出負荷量(kg/日)	流達率	流達負荷量(kg/日)
A. 点源汚濁負荷量							
1. 生活污水の汚濁負荷量 (未処理污水)							
(1) Saraj処理区	2b	52,500	10,500	300	3,150	0.30	945
(2) NGP処理区	4b	13,200	2,640	300	792	0.30	238
(3) 中央処理区	3,5,7	513,570	102,714	300	30,814	0.70	21,570
(4) Dracevo処理区	11	39,900	7,980	300	2,394	0.30	718
小 計		619,170	123,834		37,150		23,471
2. 工場廃水の汚濁負荷量 (中央処理区)							
(1) Pivara	6	-	2,232	850	1,897	1.00	1,897
(2) 鉄鋼関係4社	8	-	80,784	60	4,847	1.00	4,847
(3) Ohis	9	-	3,819	100	382	1.00	382
(4) その他	5,7	-	38,000	209	7,942	0.80	6,354
小 計			124,835		15,068		13,480
3. 下水処理場の汚濁負荷量							
(1) Saraj下水処理場	2b	-	-	-	-	-	-
(2) NGP下水処理場	4b	-	-	-	-	-	-
(3) 中央下水処理場	10	-	-	-	-	-	-
(4) Dracevo下水処理場	11	-	-	-	-	-	-
小 計		-	-	-	-	-	-
点源汚濁負荷計		619,170	248,669		52,218		36,950
B. 面源汚濁負荷量							
1. 生活污水汚濁負荷	12	15,800	3,160	300	948	0.10	95
2. 自然汚濁負荷	13	0.5×355 km ²			178	1.00	178
面源汚濁負荷計		15,800	3,160		1,126		273
合 計		634,970	251,829		53,344		37,223

注)

- 排出位置番号は図 4.6 に対応
- 中央処理区的生活污水の汚濁負荷は、「3(中小の排出口)」に 25%、「5(左岸幹線排出口)」に 37.5%、「7(右岸幹線排出口)」に 37.5%配分する
- その他の工場廃水の汚濁負荷は、「5(左岸幹線排出口)」に 50%、「7(右岸幹線排出口)」に 50%配分する
- 中央処理区的生活污水の流達率（加重平均値）0.70 は下表による

	流達率	面積比率	加重平均
下水道未整備区域	0.3	20%	0.3×20%+0.8×80%=0.70
污水管布設済み区域 (現況)	0.8	80%	

図 4.6 に生活污水と工場廃水のバルダル川への排出地点別の排出汚濁負荷量を示す。

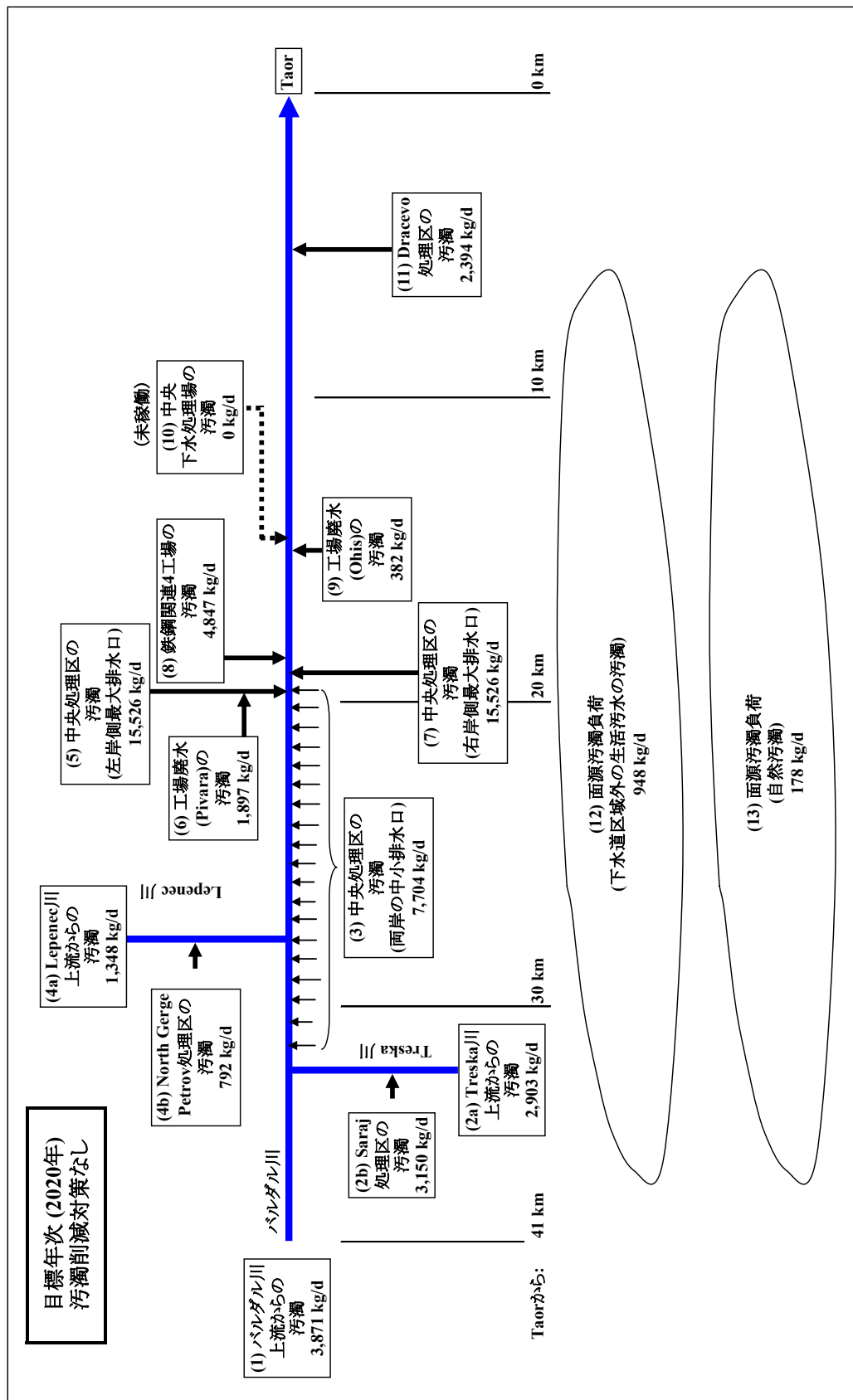


図 4.6 排出汚濁負荷の分布 (Case-1: 汚濁削減対策なし(2020 年))

(3) 「Case-2: 工場廃水規制あり (2020 年)」の汚濁負荷量

「工場廃水規制あり (2020 年)」の汚濁負荷量を表 4.16 に示す。このケースは、全工場に除害施設を設置し排水水質を BOD25 mg/l に規制するものである。なお、下水処理場は設置しない想定である。生活汚水と専用排水管を持たない工場の廃水は、現況と同様に、下水道幹線排水口 2 ヶ所とその他の中小の排水口から、大規模工場の廃水は専用排水口からバルダル川へ排出される。ただし、工場廃水の水質は BOD25 mg/l である。また、Saraj 処理区、North Gorce Petrov 処理区、Dracevo 処理区の汚水も現況と同様、未処理のまま近傍の河川へ排出される想定である。

調査区域内の発生源からの排出汚濁負荷量は、点源汚濁が 39,803 kg/日、面源汚濁が 1,126 kg/日、総量で 40,929kg/日である。Case-1 に比較して約 23%の削減である。これは、工場廃水の排水時の水質を BOD 25 mg/l に規制する効果である。なお、バルダル川へ到達する流達汚濁負荷量は 26,236 kg/日である。

表 4.16 「Case-2: 工場廃水規制あり (2020 年)」の BOD 汚濁負荷量

	排出位置	人口 (人)	水量 (m ³ /日)	排水水質 (mg/l)	排出負荷量 (kg/日)	流達率	流達負荷量 (kg/日)
A. 点源汚濁負荷量							
1. 生活汚水の汚濁負荷量 (未処理汚水)							
(1) Saraj処理区	2b	52,500	10,500	300	3,150	0.30	945
(2) NGP処理区	4b	13,200	2,640	300	792	0.30	238
(3) 中央処理区	3,5,7	513,570	102,714	300	30,814	0.70	21,571
(4) Dracevo処理区	11	39,900	7,980	300	2,394	0.30	718
小 計		619,170	123,834		37,150		23,472
2. 工場廃水の汚濁負荷量							
(1) Pivara	6	-	1,897	25	47	1.00	47
(2) 鉄鋼関係4社	8	-	68,666	25	1,717	1.00	1,717
(3) Ohis	9	-	3,246	25	81	1.00	81
(4) その他	5,7	-	32,300	25	808	0.80	646
小 計			106,109		2,653		2,491
2. 工場廃水の汚濁負荷量 (中央処理区)							
(1) Saraj下水処理場	2b	-	-	-	-	-	-
(2) NGP下水処理場	4b	-	-	-	-	-	-
(3) 中央下水処理場	10	-	-	-	-	-	-
(4) Dracevo下水処理場	11	-	-	-	-	-	-
小 計		-	-	-	-	-	-
点源汚濁負荷計		619,170	229,943		39,803		25,963
B. 面源汚濁負荷量							
1. 生活汚水汚濁負荷	12	15,800	3,160	300	948	0.10	95
2. 自然汚濁負荷	13	0.5×355 km ²			178	1.00	178
面源汚濁負荷計		15,800	3,160		1,126		273
合 計		634,970	233,103		40,929		26,236

注)

- (1) 排出位置番号は図 4.7 に対応
- (2) 中央処理区の生活汚水の汚濁負荷は、「3(中小の排出口)」に 25%、「5(左岸幹線排出口)」に 37.5%、「7(右岸幹線排出口)」に 37.5%配分する
- (3) その他の工場廃水の汚濁負荷は、「5(左岸幹線排出口)」に 50%、「7(右岸幹線排出口)」に 50%配分する
- (4) 工場廃水量は CP により 2006 年に比較して 15%削減
- (5) 中央処理区の生活汚水の流達率 (加重平均値) 0.70 は下表による

	流達率	面積比率	加重平均
下水道未整備区域	0.3	20%	0.3×20%+0.8×80%=0.70
污水管布設済み区域 (現況)	0.8	80%	

- (6) 工場廃水の水質は、排水規制により BOD 25 mg/l
 (7) 下水処理場は未稼働

図 4.7 に生活污水と工場廃水のバルダル川への排出地点別の排出汚濁負荷量を示す。

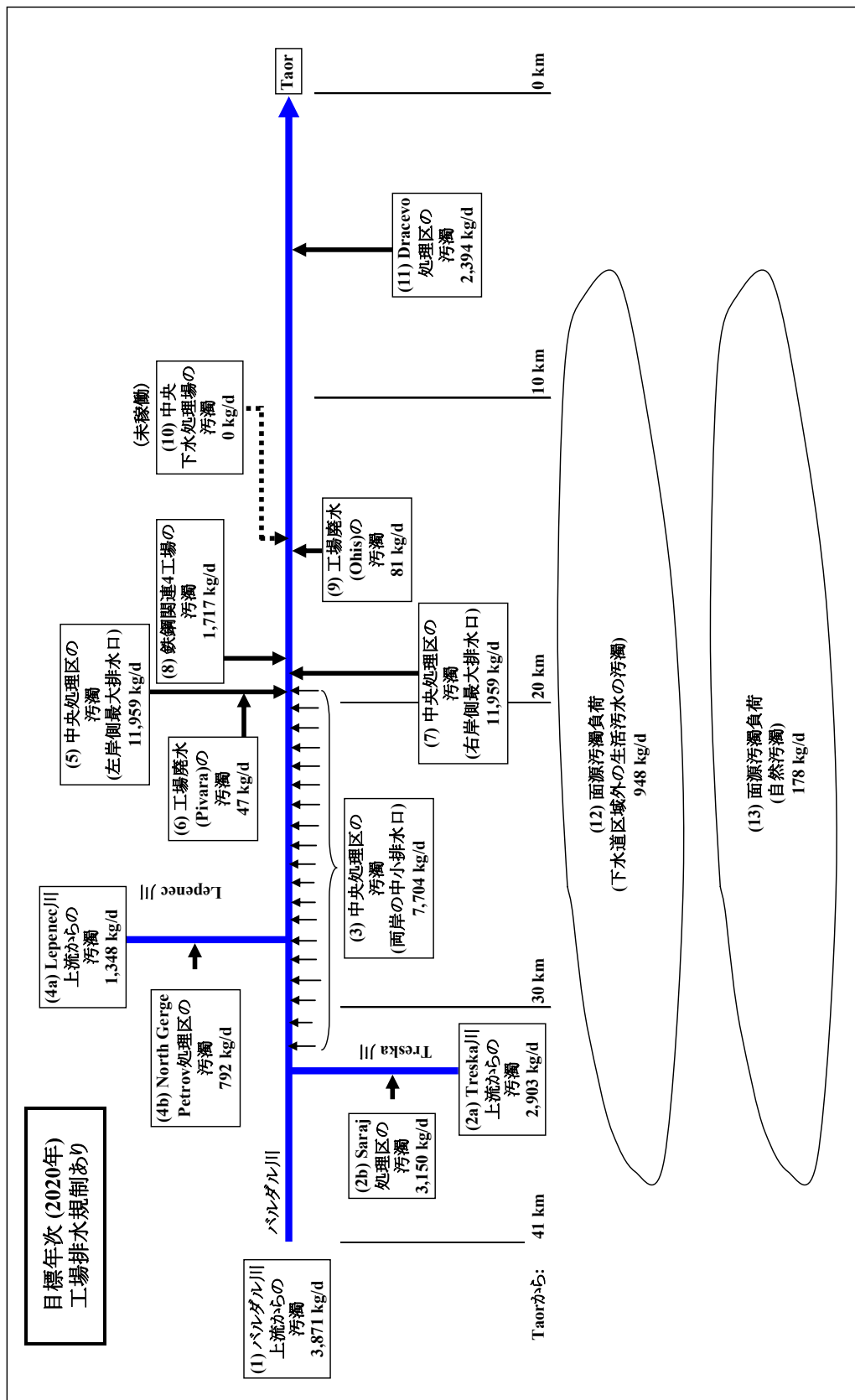


図 4.7 排出汚濁負荷の分布 (Case-2: 工場廃水規制あり (2020 年))

(4) 「Case-3: 中央下水処理場で一次処理（2020年）」の汚濁負荷量

「中央下水処理場で一次処理（2020年）」の汚濁負荷量を表 4.17 に示す。このケースは、工場廃水の規制に加え、中央処理区において幹線管きよの整備を完了し、中央下水処理場にて汚水の一次処理（沈殿処理）を行うものである。中央処理区ではバルダル川への未処理での汚水の排出は皆無となる。Saraj 処理区、North Gorce Petrov 処理区、Dracevo 処理区の汚水は未処理のまま近傍の河川へ排出される想定である。

調査区域内の発生源からの排出汚濁負荷量は、点源汚濁が 27,448 kg/日、面源汚濁が 1,126 kg/日、総量で 28,614kg/日である。と、Case-2 に比較して約 30%の削減である。これは、未処理下水の排出をなくし、中央下水処理場で一次処理を行う効果である。なお、バルダル川へ到達する流達汚濁負荷量は 23,326 kg/日である。

表 4.17 「Case-3: 中央下水処理場で一次処理（2020年）」の BOD 汚濁負荷量

	排出位置	人口(人)	水量(m ³ /日)	排出水質(mg/l)	排出負荷量(kg/日)	流達率	流達負荷量(kg/日)
A. 点源汚濁負荷量							
1. 生活污水の汚濁負荷量 (未処理汚水)							
(1) Saraj処理区	2b	52,500	10,500	300	3,150	0.30	945
(2) NGP処理区	4b	13,200	2,640	300	792	0.30	238
(3) 中央処理区	3,5,7	-	-	-	-	-	-
(4) Dracevo処理区	11	39,900	7,980	300	2,394	0.30	718
小 計		105,600	21,120		6,336		1,901
2. 工場廃水の汚濁負荷量 (中央処理区)							
(1) Pivara	6	-	1,897	25	47	1.00	47
(2) 鉄鋼関係4社	8	-	68,666	25	1,717	1.00	1,717
(3) Ohis	9	-	3,246	25	81	1.00	81
(4) その他	5,7	-	-	-	-	-	-
小 計			73,809		1,845		1,845
3. 下水処理場の汚濁負荷量							
(1) Saraj下水処理場	2b	-	-	-	-	-	-
(2) NGP下水処理場	4b	-	-	-	-	-	-
(3) 中央下水処理場	10	513,570	135,014	143	19,307	1.00	19,307
(4) Dracevo下水処理場	11	-	-	-	-	-	-
小 計		513,570	135,014		19,307		19,307
点源汚濁負荷計		619,170	229,943		27,488		23,053
B. 面源汚濁負荷量							
1. 生活污水汚濁負荷	12	15,800	3,160	300	948	0.10	95
2. 自然汚濁負荷	13	0.5×355 km ²			178	1.00	178
面源汚濁負荷計		15,800	3,160		1,126		273
合 計		634,970	233,103		28,614		23,326

注)

- (1) 排出位置番号は図 4.8 に対応
- (2) 中央処理区的生活汚水の汚濁負荷は、「3(中小の排出口)」に 25%、「5(左岸幹線排出口)」に 37.5%、「7(右岸幹線排出口)」に 37.5%配分する
- (3) その他の工場廃水の汚濁負荷は、「5(左岸幹線排出口)」に 50%、「7(右岸幹線排出口)」に 50%配分する
- (4) 工場廃水量は CP により 2006 年に比較して 15%削減
- (5) 工場廃水の水質は、排水規制により BOD 25 mg/l
- (6) 中央下水処理場のみ稼働、中央処理区的生活汚水と工場廃水(その他)の汚濁は中央下水処理場でカウント
- (7) 中央下水処理場では一次処理、処理水質は BOD 143 mg/l (= 239 mg/l × 0.6)

図 4.8 に生活污水と工場廃水のバルダル川への排出地点別の排出汚濁負荷量を示す。

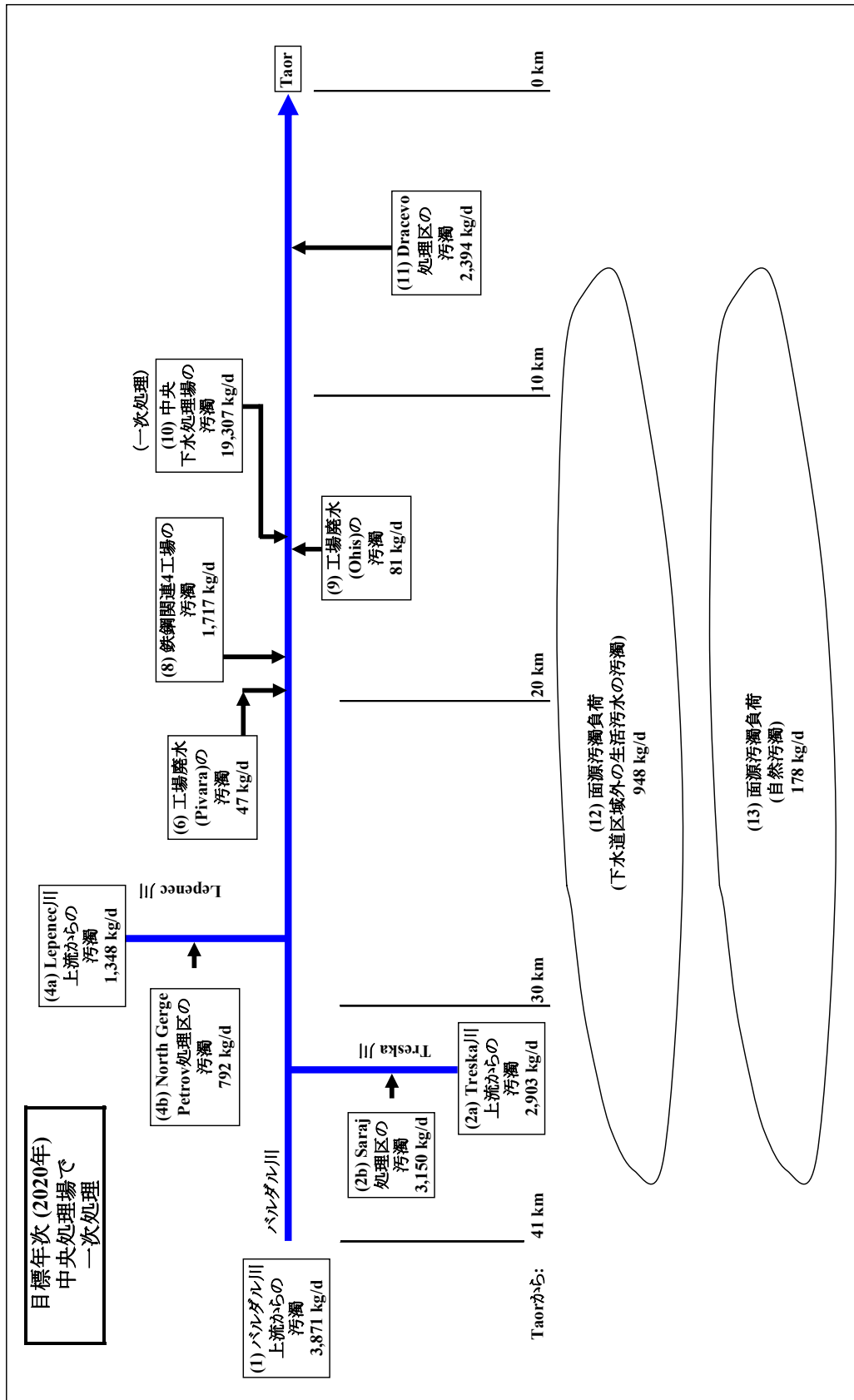


図 4.8 排出汚濁負荷の分布 (Case-3: 中央下水処理場で一次処理(2020 年))

(5) 「Case-4: 中央下水処理場で二次処理（2020年）」の汚濁負荷量

「中央下水処理場で一次処理（2020年）」の汚濁負荷量を表 4.18 に示す。このケースは、Case-3 で中央下水処理場が一次処理であったのを二次処理に置き換えるものである。工場廃水規制は実施することと、Saraj 処理区、North Gorce Petrov 処理区、Dracevo 処理区に下水処理場を設置しないのは Case-3 と同様である。

調査区域内の発生源からの排出汚濁負荷量は、点源汚濁が 11,556 kg/日、面源汚濁が 1,126 kg/日、総量で 12,682kg/日である。Case-3 に比較して約 56%の削減である。これは、中央下水処理場で一次処理に代えて二次処理を行う効果である。なお、バルダル川へ到達する流達汚濁負荷量は 7,394 kg/日である。

表 4.18 「Case-4: 中央下水処理場で二次処理（2020年）」の BOD 汚濁負荷量

	排出位置	人口(人)	水量(m ³ /日)	排出水質(mg/l)	排出負荷量(kg/日)	流達率	流達負荷量(kg/日)
A. 点源汚濁負荷量							
1. 生活污水の汚濁負荷量(未処理污水)							
(1) Saraj処理区	2b	52,500	10,500	300	3,150	0.30	945
(2) NGP処理区	4b	13,200	2,640	300	792	0.30	238
(3) 中央処理区	3,5,7	0	0	-	0	0.00	0
(4) Dracevo処理区	11	39,900	7,980	300	2,394	0.30	718
小 計		105,600	21,120		6,336		1,901
2. 工場廃水の汚濁負荷量(中央処理区)							
(1) Pivara	6	-	1,897	25	47	1.00	47
(2) 鉄鋼関係4社	8	-	68,666	25	1,717	1.00	1,717
(3) Ohis	9	-	3,246	25	81	1.00	81
(4) その他	5,7	-	0	-	0	0.00	0
小 計			73,809		1,845		1,845
3. 下水処理場の汚濁負荷量							
(1) Saraj下水処理場	2b	-	-	-	-	-	-
(2) NGP下水処理場	4b	-	-	-	-	-	-
(3) 中央下水処理場	10	513,570	135,014	25	3,375	1.00	3,375
(4) Dracevo下水処理場	11	-	-	-	-	-	-
小 計		513,570	135,014		3,375		3,375
点源汚濁負荷計		619,170	229,943		11,556		7,121
B. 面源汚濁負荷量							
1. 生活污水汚濁負荷	12	15,800	3,160	300	948	0.10	95
2. 自然汚濁負荷	13	0.5×355 km ²			178	1.00	178
面源汚濁負荷計		15,800	3,160		1,126		273
合 計		634,970	233,103		12,682		7,394

注)

- (1) 排出位置番号は図 4.9 に対応
- (2) 中央処理区的生活污水の汚濁負荷は、「3(中小の排出口)」に 25%、「5(左岸幹線排出口)」に 37.5%、「7(右岸幹線排出口)」に 37.5%配分する
- (3) その他の工場廃水の汚濁負荷は、「5(左岸幹線排出口)」に 50%、「7(右岸幹線排出口)」に 50%配分する
- (4) 工場廃水量は CP により 2006 年に比較して 15%削減
- (5) 工場廃水の水質は、排水規制により BOD 25 mg/l
- (6) 中央下水処理場のみ稼働、中央処理区的生活污水と工場廃水(その他)の汚濁は中央下水処理場でカウント
- (7) 中央下水処理場では二次処理、処理水質は BOD 25 mg/l

図 4.9 に生活污水と工場廃水のバルダル川への排出地点別の排出汚濁負荷量を示す。

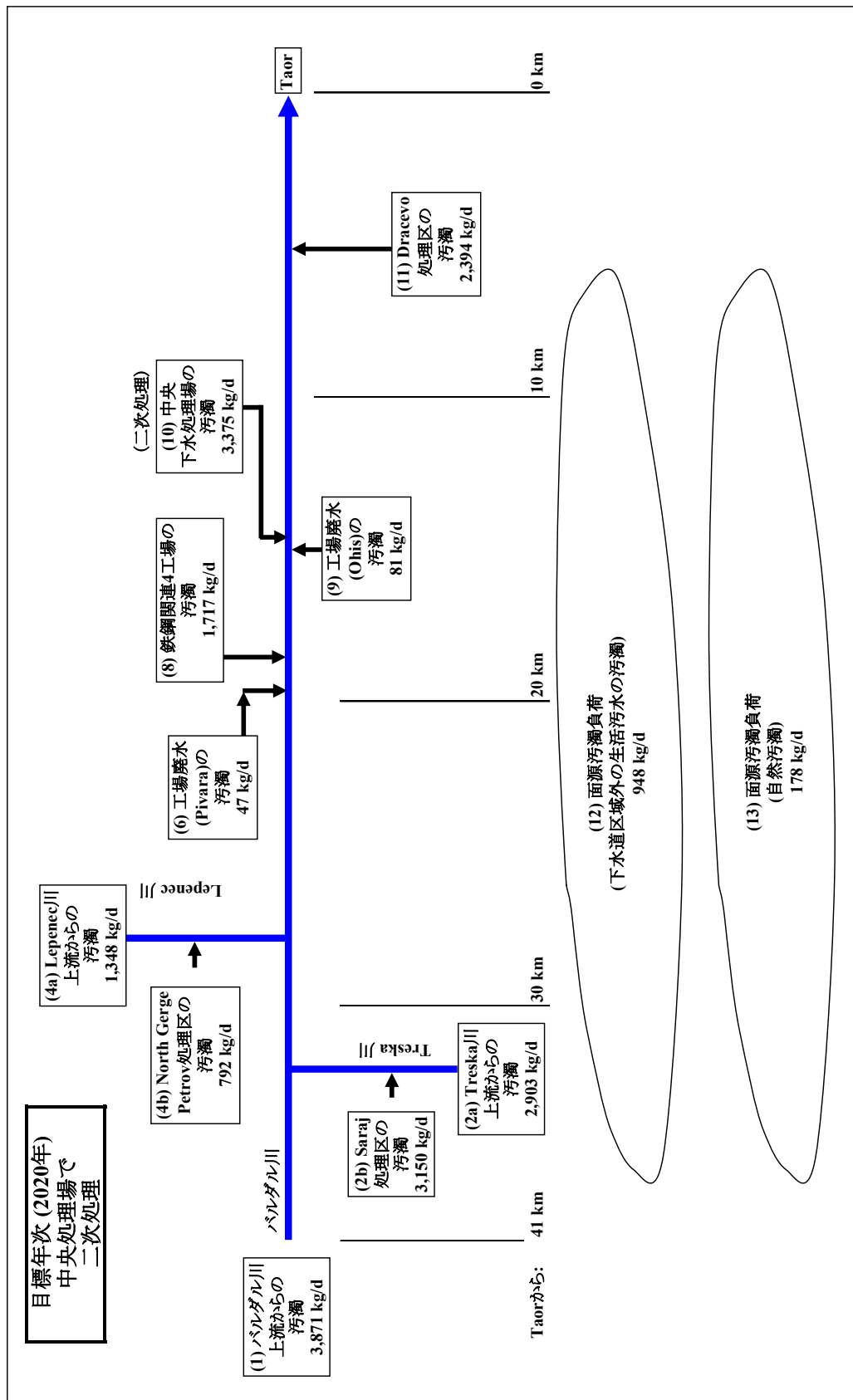


図 4.9 排出汚濁負荷の分布 (Case-4: 中央下水処理場で二次処理(2020 年))

(6) 「Case-5: 全下水処理場で二次処理 (2020 年)」の汚濁負荷量

「全下水処理場で一次処理 (2020 年)」の汚濁負荷量を表 4.19 に示す。このケースは、全下水処理場が二次処理を行うものである。工場廃水規制を実施することは Case-4 と同様である。

調査区域内の発生源からの排出汚濁負荷量は、点源汚濁が 5,749 kg/日、面源汚濁が 1,126 kg/日、総量で 6,875kg/日と、Case-4 に比較して約 46%の削減である。これは、中央下水処理場他、全下水処理場で二次処理を行う効果である。なお、バルダル川へ到達する流達汚濁負荷量は 6,022 kg/日である。

表 4.19 「Case-5: 全下水処理場で二次処理 (2020 年)」の BOD 汚濁負荷量

	排出位置	人口 (人)	水量 (m ³ /日)	排水水質 (mg/l)	排出負荷量 (kg/日)	流達率	流達負荷量 (kg/日)
A. 点源汚濁負荷量							
1. 生活污水の汚濁負荷量 (未処理污水)							
(1) Saraj 処理区	2b	-	-	-	-	-	-
(2) NGP 処理区	4b	-	-	-	-	-	-
(3) 中央処理区	3,5,7	-	-	-	-	-	-
(4) Dracevo 処理区	11	-	-	-	-	-	-
小 計		-	-		-	-	-
2. 工場廃水の汚濁負荷量 (中央処理区)							
(1) Pivara	6	-	1,897	25	47	1.00	47
(2) 鉄鋼関係4社	8	-	68,666	25	1,717	1.00	1,717
(3) Ohis	9	-	3,246	25	81	1.00	81
(4) その他	5,7	-	-	-	-	-	-
小 計			73,809		1,845		1,845
3. 下水処理場の汚濁負荷量							
(1) Saraj 下水処理場	2b	52,500	10,500	25	263	1.00	263
(2) NGP 下水処理場	4b	13,200	2,640	25	66	1.00	66
(3) 中央下水処理場	10	513,570	135,014	25	3,375	1.00	3,375
(4) Dracevo 下水処理場	11	39,900	7,980	25	200	1.00	200
小 計		619,170	156,134		3,904		3,904
点源汚濁負荷計		619,170	229,943		5,749		5,749
B. 面源汚濁負荷量							
1. 生活污水汚濁負荷	12	15,800	3,160	300	948	0.10	95
2. 自然汚濁負荷	13	0.5×355 km ²			178	1.00	178
面源汚濁負荷計		15,800	3,160		1,126		273
合 計		634,970	233,103		6,875		6,022

注)

- (1) 排出位置番号は図 4.10 に対応
- (2) 中央処理区的生活污水の汚濁負荷は、「3(中小の排出口)」に 25%、「5(左岸幹線排出口)」に 37.5%、「7(右岸幹線排出口)」に 37.5%配分する
- (3) その他の工場廃水の汚濁負荷は、「5(左岸幹線排出口)」に 50%、「7(右岸幹線排出口)」に 50%配分する
- (4) 工場廃水量は CP により 2006 年に比較して 15%削減
- (5) 工場廃水の水質は、排水規制により BOD 25 mg/l
- (6) 全下水処理場稼働、工場廃水(中央処理区、その他)の汚濁は各下水処理場でカウント
- (7) 全下水処理場で二次処理、処理水質は BOD 25 mg/l

図 4.10 に生活污水と工場廃水のバルダル川への排出地点別の汚濁負荷量を示す。

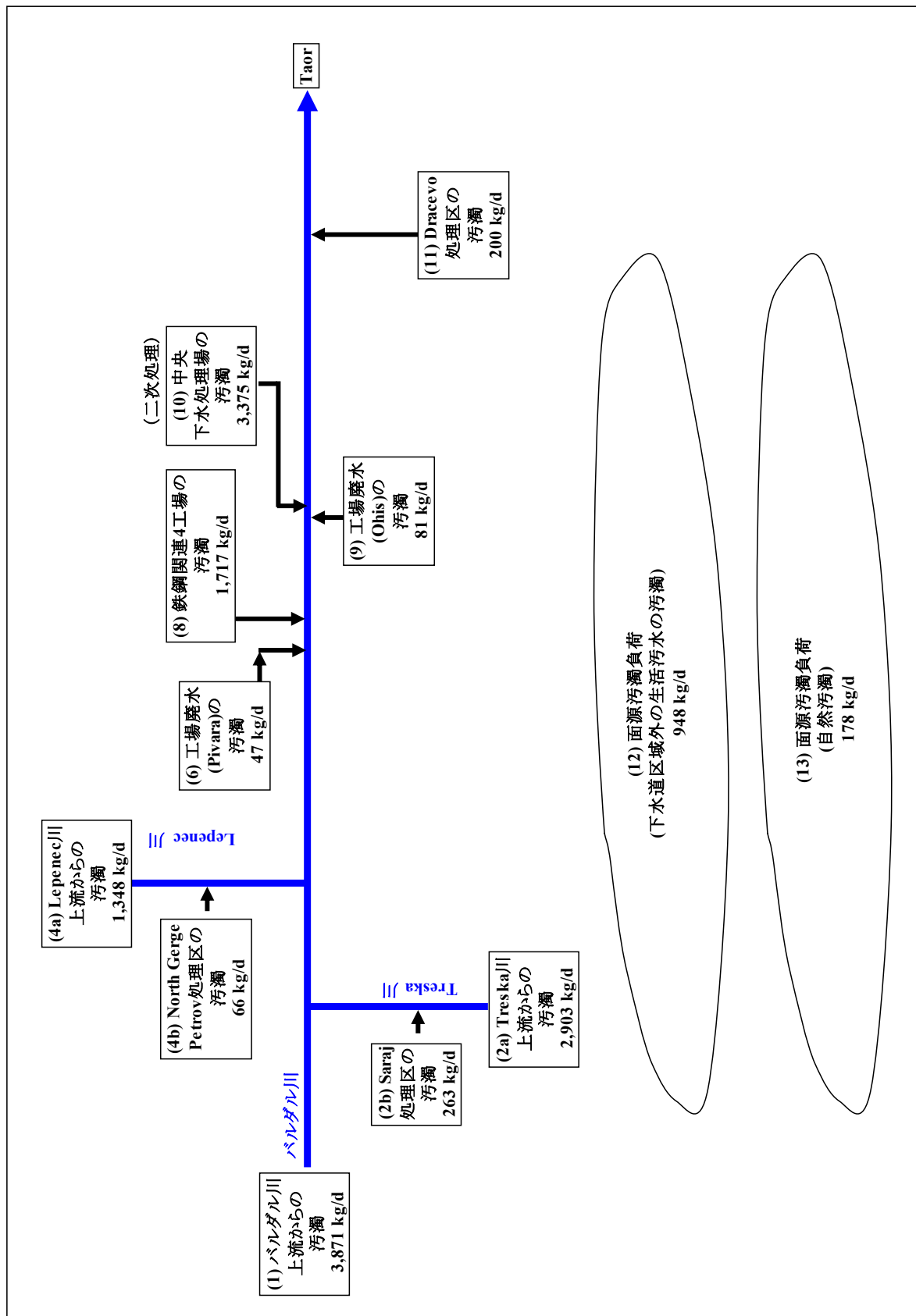


図 4.10 排出汚濁負荷の分布 (Case-5: 全下水処理場で二次処理(2020 年))

検討ケース別の発生源別の汚濁負荷量を表 4.20 と図 4.11 に示す。目標年次の 2020 年の発生汚濁負荷量は汚濁削減対策を実施しない場合、現況の 2006 年に比較して発生汚濁負荷量は約 2 倍になると推定される。これに対し、工場廃水規制や下水処理場の設置による汚濁削減対策の実施は汚濁削減対策を実施しない場合に比較して約 21～87%の削減となる。

表 4.20 ケース別の排出汚濁負荷量総括表

(BOD-kg/日)

	現況 (2006年)	目標年次 (2020年)				
		Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	Case-5
汚濁削減対策 (BOD)						
工場廃水規制	なし	なし	あり (25 mg/l)	あり (25 mg/l)	あり (25 mg/l)	あり (25 mg/l)
中央下水処理場	-	-	-	一次処理 (143 mg/l)	二次処理 (25 mg/l)	二次処理 (25 mg/l)
他の下水処理場	-	-	-	-	-	二次処理 (25 mg/l)
排出汚濁負荷量						
点源汚濁負荷						
生活污水	15,939	37,150	37,150	6,336	6,336	0
工場廃水	11,155	15,068	2,653	1,845	1,845	1,845
下水処理場	0	0	0	19,307	3,375	3,904
小 計	27,094	52,218	39,803	27,488	11,556	5,749
面源汚濁負荷						
生活污水	423	948	948	948	948	948
自然汚濁	178	178	178	178	178	178
小 計	601	1,126	1,126	1,126	1,126	1,126
合 計	27,695	53,344	40,929	28,614	12,682	6,875
汚濁負荷削減率	-	1.00	0.77	0.54	0.24	0.13

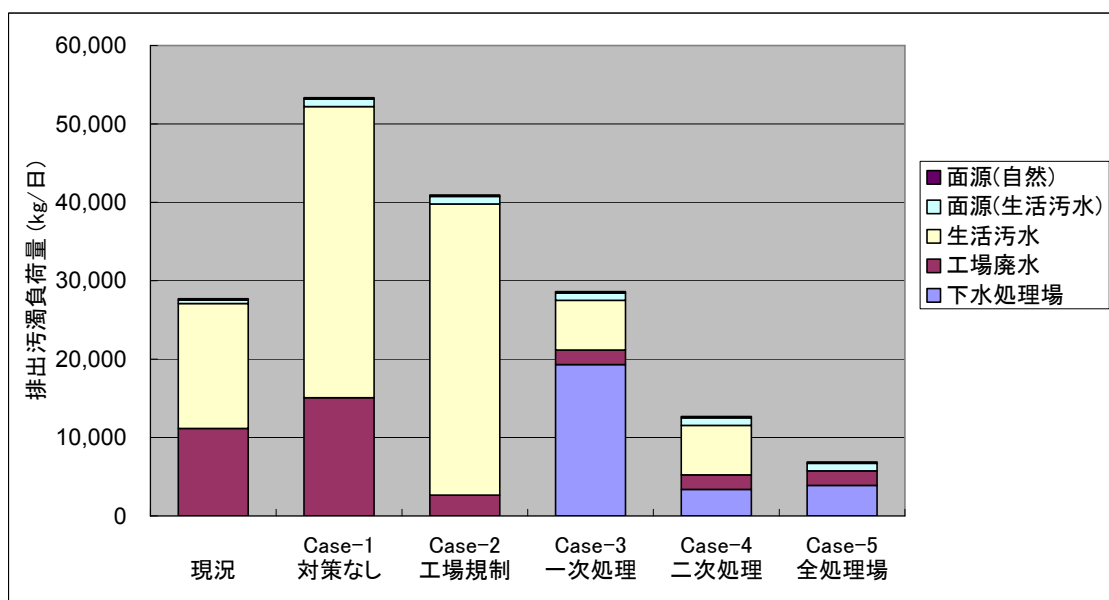


図 4.11 ケース別の排出汚濁負荷量総括表

4.5 汚濁解析結果

表 4.21 と図 4.12 に水質汚濁解析結果を示す。数値は各ケースにおける主な汚濁負荷のバルダル川への排出点における BOD 濃度を表している。網掛けの背景は計算された水質が水質環境基準（類型 II または III）を上回る箇所を表す。

表 4.21 水質汚濁解析結果（BOD, 2020 年）

	起点 Rasce	主な汚濁負荷の排出点							終点 Taor
		Treska川	Lepenec川	下水 左岸	下水 右岸	鉄鋼	処理場	Dracevo	
現況	2.5	2.6	2.5	5.7	7.9	9.7	9.3	7.1	5.8
Case-1	4.0	4.1	4.1	10.3	14.8	16.3	15.6	12.4	11.0
Case-2	4.0	4.1	4.1	8.2	11.6	11.9	11.5	8.8	7.5
Case-3	4.0	4.1	3.8	3.0	3.0	3.6	11.3	8.4	7.0
Case-4	4.0	4.1	3.8	3.0	3.0	3.6	4.6	3.4	2.8
Case-5	4.0	3.7	3.5	2.8	2.7	3.4	4.4	3.2	2.5
水質基準	類型 II				類型 III				
	4				7				

注) 網掛けは水質環境基準を満足しない Case・地点

	タイトル	工場廃水 規制	下水処理場の稼働	
			中央処理場	その他
	現況 (2006年)	規制なし	なし	なし
Case-1	汚濁削減対策なし	規制なし	なし	なし
Case-2	工場廃水規制あり	全工場	なし	なし
Case-3	中央下水処理場で一次処理	6工場	一次処理	なし
Case-4	中央下水処理場で二次処理	6工場	二次処理	なし
Case-5	全下水処理場で二次処理	6工場	二次処理	二次処理

汚濁解析結果によれば目標年次 2020 年におけるバルダル川の水質状況は次のとおりである。

- (1) 汚濁削減対策なしの場合（Case-1）、調査区間（Rasce から Taor）全域で水質環境基準を満足しない。
- (2) 工場廃水規制のみ実施する場合（Case-2）も、水質が全体的に下がるが全域で水質環境基準を満足しないのは同じである。
- (3) 中央下水処理場で一次処理をする場合（Case-3）、バルダル川への未処理下水の排出がなくなるため、中央下水処理場の処理水放流点まで水質は良好である。ただし、処理水放流点より下流では水質環境基準を満足しない。一次処理では処理が不十分である。
- (4) 中央下水処理場のみで二次処理をする場合（Case-4）、Treska 川の合流点付近を除き水質環境基準を満足する。
- (5) 全処理場で二次処理をする場合（Case-5）、調査区間（Rasce から Taor）全域で水質環境基準を満足する。

最終的に、水質環境基準達成および EU の定める放流水質基準を満たすためには下水処理場の二次処理と工場廃水管理が必要不可欠と結論づけられる。

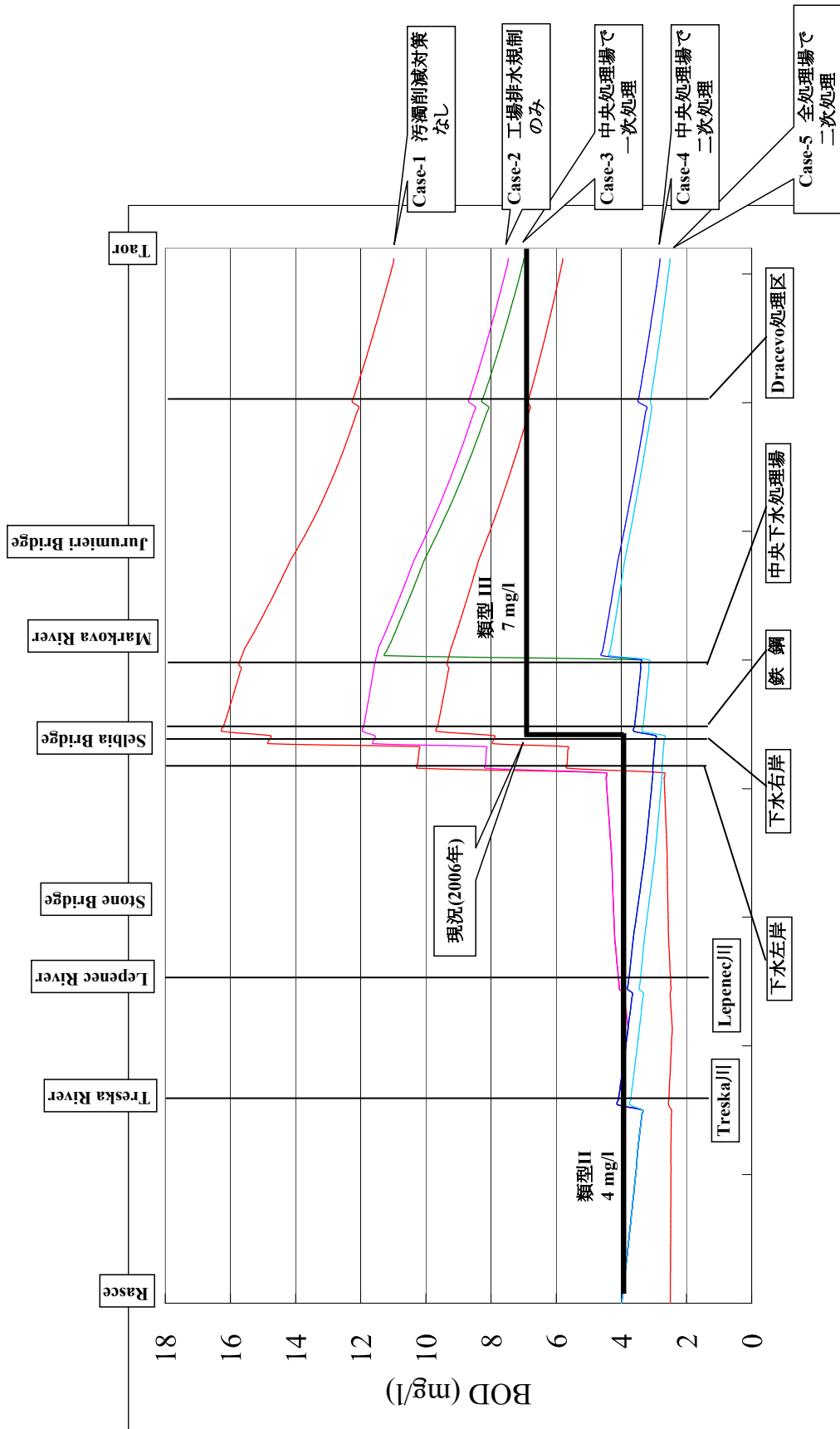


図 4.12 水質汚濁解析結果 (BOD, 2020 年)

4.6 汚濁解析（渇水流量時）

前節まで日本での基準すなわち低水流量時の汚濁解析を行い、「すべての下水処理場の二次処理と工場廃水管理」を行えば水質環境基準が守られることを示した。本節では、渇水流量時の水質がいかほどになるかを推定した。マケドニア国でどの流量時に水質環境基準が守られれば良いかとの指針はない。今後マケドニア国が採用するであろう EU 指令でも明示されていない。下水処理水水質に関する EU 指令（91/271/EEC）では、「処理水質のサンプリング頻度に応じて、そのうちの何回かは基準を超えても良い」としている。例えば毎日サンプリングして分析するのであれば、25回は超えてもよい、言い換えれば365日のうち、340日は基準を満足する必要がある、としている。仮にこの基準が河川の環境基準に適用できるとして、渇水流量（355日流量）を想定した汚濁解析を行った。

4.6.1 計算条件

(1) 渇水流量

表 4.22 に示す渇水流量を用いて汚濁解析を行う。

表 4.22 バルダル川とその支川の流況（境界条件）

(m ³ /秒)				
河川	地点	低水流量	渇水流量	備 考
バルダル川	Rasce	11.2	6.6	バルダル川Vlae流量 - Treska川流量 低水: 19.6-8.4 = 11.2 渇水: 12.1-5.5 = 6.6
Treska川	上流	8.4	5.5	
Lepenec川	上流	3.9	2.4	

(2) 渇水時の河川上流側境界での水質

渇水時に上流から流下してくる汚濁負荷量は低水流量時の汚濁負荷量と同じと仮定する。渇水時の水質は流量が少ない分低水流量時より高くなる。

表 4.23 渇水流量時の河川水質（境界条件）

(1) 2006 年

	低水流量時			渇水流量時	
	低水流量 (m ³ /秒)	低水時水質 (mg/l)	汚濁負荷量 (kg/日)	渇水流量 (m ³ /秒)	渇水時水質 (mg/l)
バルダル川	11.2	2.5	24,192	6.6	4.2
Treska川	8.4	2.3	18,144	5.5	3.5
Lepenec川	3.9	2.1	7,076	2.4	3.4

(2) 2020 年

	低水流量時			渇水流量時	
	低水流量 (m ³ /秒)	低水時水質 (mg/l)	汚濁負荷量 (kg/日)	渇水流量 (m ³ /秒)	渇水時水質 (mg/l)
バルダル川	11.2	4.0	38,707	6.6	6.8
Treska川	8.4	4.0	29,030	5.5	6.1
Lepenec川	3.9	4.0	13,478	2.4	6.5

(3) 生活汚水、工場廃水、下水処理場処理水の汚濁負荷量

汚濁負荷削減対策のケース設定、生活汚水、工場廃水、下水処理場処理水の汚濁負荷量は低水流量時と同じとする。

4.6.2 汚濁解析結果

渇水時の汚濁解析結果を表 4.24 に示す。

表 4.24 水質汚濁解析結果（BOD、渇水時、2020 年）

	起点 Rasce	主な汚濁負荷の排出点							終点 Taor
		Treska川	Lepenec 川	下水 左岸	下水 右岸	鉄鋼	処理場	Dracevo	
現況	4.2	3.8	3.5	8.2	11.6	14.0	13.3	9.7	7.8
Case-1	6.8	6.6	6.4	15.9	22.7	24.5	23.4	19.1	17.0
Case-2	6.8	6.6	6.4	12.6	17.7	17.9	17.1	13.2	11.4
Case-3	6.8	6.6	6.0	4.6	4.5	5.4	16.9	12.5	10.7
Case-4	6.8	6.6	6.0	4.6	4.5	5.4	6.7	4.7	3.8
Case-5	6.8	5.9	5.4	4.1	4.0	5.0	6.4	4.5	3.4
水質基準	類型 II				類型 III				
	4				7				

注) 網掛けは水質環境基準を満足しない Case・地点

	タイトル	工場廃水 規制	下水処理場の稼働	
			中央処理場	その他
現況 (2006年)		規制なし	なし	なし
Case-1	汚濁削減対策なし	規制なし	なし	なし
Case-2	工場廃水規制あり	全工場	なし	なし
Case-3	中央下水処理場で一次処理	6工場	一次処理	なし
Case-4	中央下水処理場で二次処理	6工場	二次処理	なし
Case-5	全下水処理場で二次処理	6工場	二次処理	二次処理

汚濁解析結果によれば目標年次 2020 年におけるバルダル川の水質状況は次のとおりである。

- (1) 渇水時においても「Case-5: 全下水処理場で二次処理」を行えば、低水時より若干悪化するものの、類型 III の区間において環境基準は達成できる。
- (2) 「Case-5: 全下水処理場で二次処理」を行っても類型 II の区間で環境基準は達成できない。これは上流端の水質を BOD 6.8mg/l と仮定したことによる。ただし、上流端の水質が渇水時においても環境基準類型 II に相当する BOD 4mg/l 以下であれば、類型 II の区間においても環境基準は達成できると考えられる。

第5章 周辺処理区設定に関する検討

1999 年の下水道 M/P では、スコピエ市内を、中央、Saraj、Novo Selo（現 North Gorce Petrov）、Dracevo の 4 つの処理区を設定し、中央、Saraj、North Gorce Petrov の各処理区は独立の処理区とし、Dracevo は中央処理区に併合することを提案していた。

この下水道 M/P の提案に基づき、Saraj 区は「Saraj 下水道計画調査 F/S」を策定し、区内の一部の集落については 2008 年に実施設計を行なった。North Gorce Petrov 処理区では 2006 年から幹線管きょの建設を進め 2008 年には完成の予定であるが、下水処理場の建設計画は未定である。また、Dracevo 処理区では下水道 M/P の提案と異なり、中央処理区とは併合せずに独立の処理区とし、これに基づき実施設計を完成させた。ここでは、これら 3 つの処理区の整備計画について技術面、環境・政策面からレビューする。

5.1 事業の進捗状況

なお、本章は 2008 年 2 月時点でまとめている。しかし、その後周辺 3 区の下水処理が進捗し、2008 年 10 月 3 日の S/C において、マケドニア側は下記を表明した。

1. Saraj 処理区の優先区域の下水道及び North Gorce Petrov 下水処理場が 2009 年度（同年 1 月 1 日～同年 12 月 31 日）政府予算に含まれる。
2. 右岸及び左岸幹線も 2009 年度政府予算に含まれる。
3. ただし、F/S は右岸及び左岸幹線をも対象として行う（同時点では政府予算は国会で承認されていないため）。
4. 主務官庁は運輸通信省と環境都市計画省の共管である。

なお、Dracevo 処理区の政治的混乱が続いているため、同処理場は 2009 年度予算に計上されなかったという情報もある。

5.2 Saraj 処理区

5.2.1 Saraj 区による下水道計画の概要

Saraj 区を対象とした下水道 F/S、および予備的实施設計（Preliminary D/D）が、ノルウェーの資金を用いて実施され、2007 年 11 月に F/S を取りまとめた報告書が提出されている。予備的实施設計に関しては 2008 年に完了する予定である。表 5.1 にこの F/S による設計諸元、および本基本計画で設定したフレームを示す。

表 5.1 Saraj 処理区下水道計画の諸元

		計 画 諸 元	
		Saraj 区による F/S	本基本計画
目標年次	管きよ	2035 年	2030 年
	下水処理場	2025 年	2020 年
人口当量			
生活汚水		56,721 人	52,500 人
工場廃水		5,672 人	0 人
合計		62,393 人	52,500 人
生活汚水量原単位		210 lpcd	200 lpcd
計画汚水量		13,100 m ³ /日	10,500 m ³ /日
汚水処理レベル		二次処理(生物処理)	---
汚水処理プロセス		好気性生物処理方式 (Bio-aeration pools)	---

出典: Saraj 下水道計画調査 F/S

Saraj 区の下水道 F/S の対象となった 23 の集落(図 5.1 以下参照)の人口は表 5.2 のとおりである。

表 5.2 Saraj 区内の集落別人口

(人)

No	集落名	集落内管きよ の有無	予備的实施 設計対象	2002 年	2025 年	2035 年
1	Dolna Matka and weekend houses	×	○	-	697	847
2	Gorna Matka	×	○	468	697	847
3	Glumovo	×	○	1,683	2,508	3,046
4	Sisevo	×	○	3,376	5,030	6,111
5	Grcec	×	○	1,900	3,267	3,986
6	Krusopek and Laka	×	○	1,902	2,834	3,443
7	Ljubin	○		2,044	3,046	3,700
8	Saraj	○		5,232	7,796	9,470
9	Golna & Dolno Arnakija,	×		1,077	1,605	1,949
10	Caljane	×		580	864	1,050
11	Semeniste	×		559	833	1,012
12	Bukovic	×		1,723	2,567	3,119
13	Panicari	×		261	389	472
14	Raovic	×		213	317	386
15	Bojane	○		2,230	3,323	4,036
16	Laskarce	×		1,190	1,773	2,154
17	Kopanica	×		1,714	2,554	3,102
18	Dvorce	×		249	371	451
19	Radusa & Rudnik Radusa	○		2,103	3,133	3,806
20	Golno Svilare	×		712	1,061	1,289
21	Dolno Svilare	×		2,010	2,995	3,638
22	Rasce	○		2,697	4,019	4,882
23	Kondovo	○		3,384	5,042	6,125
	計			37,307	56,721	68,921
	年間人口増加率				2.26 %	2.15 %

出典: Saraj 下水道計画調査 F/S

Saraj 区が実施したこの F/S では次の 3 つの案を比較検討している。

代替案 A: 集落内下水処理場 4 ヶ所と集約型下水処理場 1 ヶ所 (図 5.1)

代替案 B: 集落内下水処理場 6 ヶ所と集約型下水処理場 3 ヶ所 (図 5.2)

代替案 C: 集落内下水処理場 17 ヶ所と集約型下水処理場なし (図 5.3)

その結果、表 5.3 に示すように、幹線管きょが不要な小型下水処理場（処理レベル：二次処理）を 17 ヶ所で建設する案（代替案 C）が最も経済的であるとの結論を得て、優先順位の高い 6 ヶ所の集落を選定し予備的实施設計を実施している。

表 5.3 代替案まとめ

	代替案 A		代替案 B		代替案 C	
	数量	建設費 (百万 EUR)	数量	建設費 (百万 EUR)	数量	建設費 (百万 EUR)
集落内管きょ	74.6 km	6.9	74.6 km	6.9	74.6 km	6.9
幹線管きょ	25.7 km	3.1	16.2 km	1.7	5.8 km	0.6
集落内下水処理場	4 ヶ所	3.5	6 ヶ所	3.7	17 ヶ所	4.0
集約型下水処理場	1 ヶ所		3 ヶ所		0 ヶ所	
合計		13.5		12.3		11.4

注) VAT 及び諸税込み

出典：Saraj 下水道計画調査 F/S

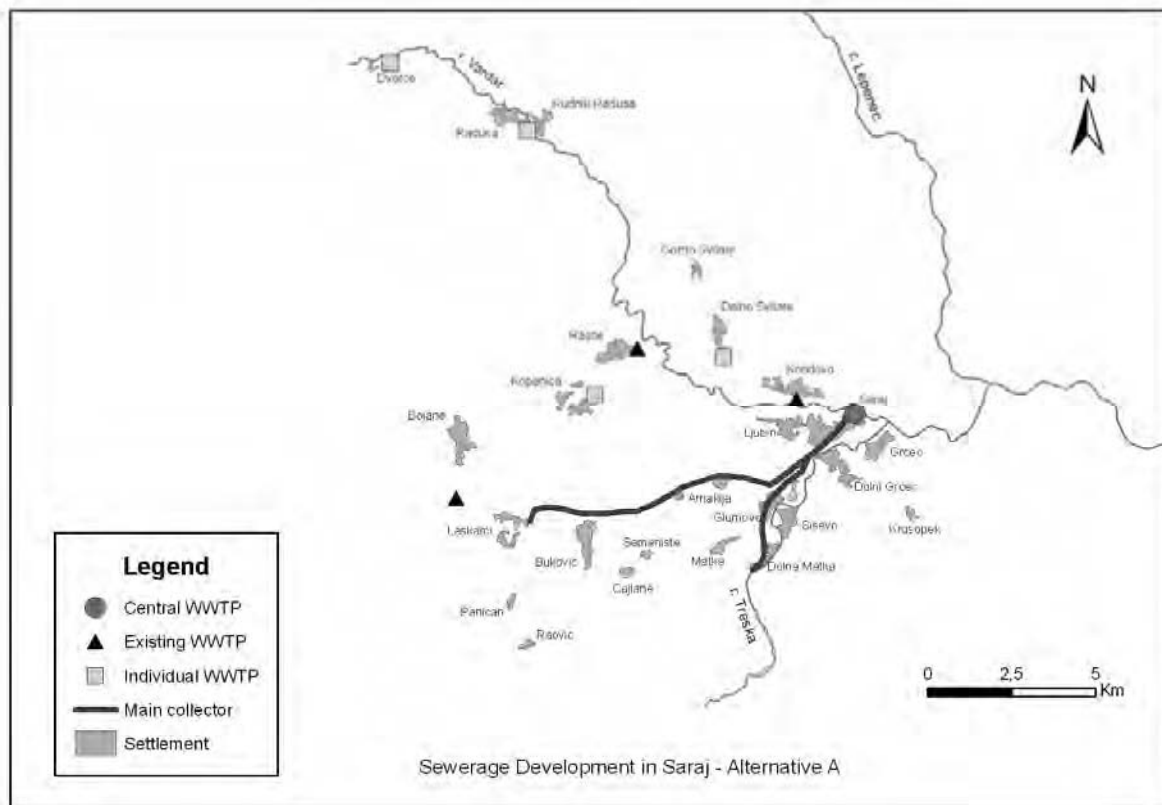


図 5.1 Saraj 区下水道整備計画案— 代替案 A

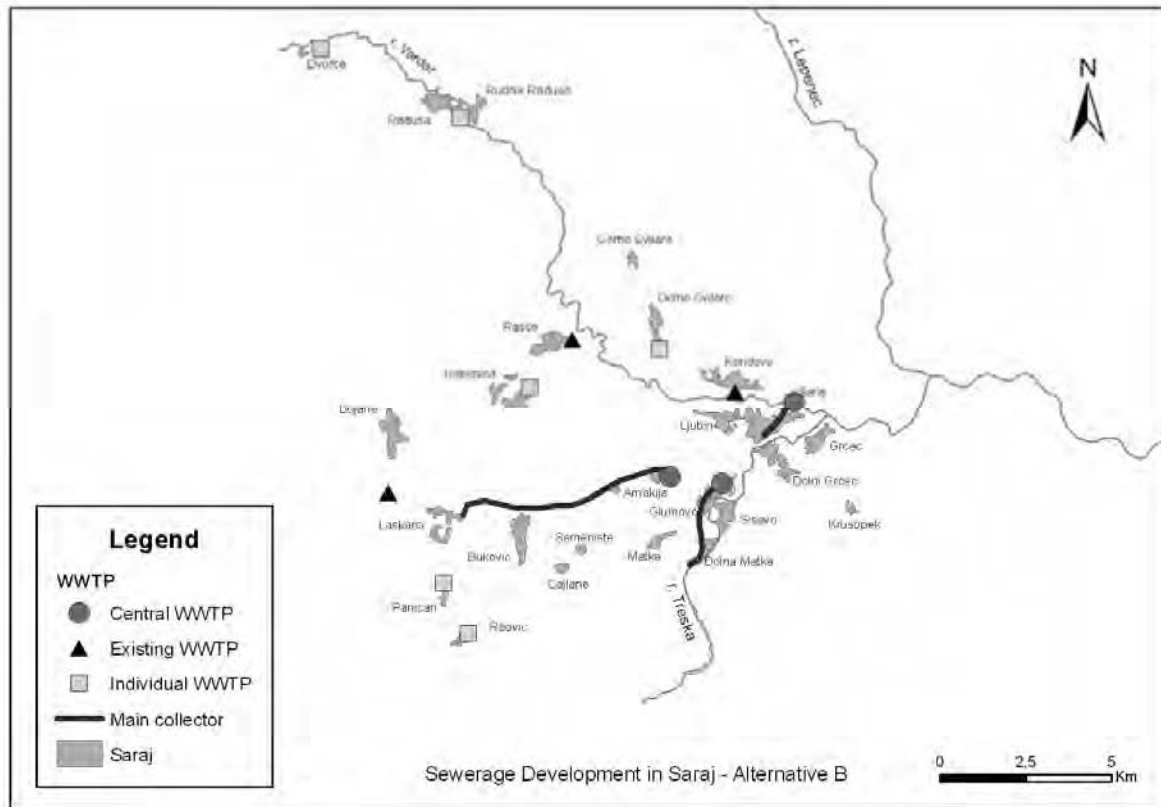


図 5.2 Saraj 区下水道整備計画案— 代替案 B

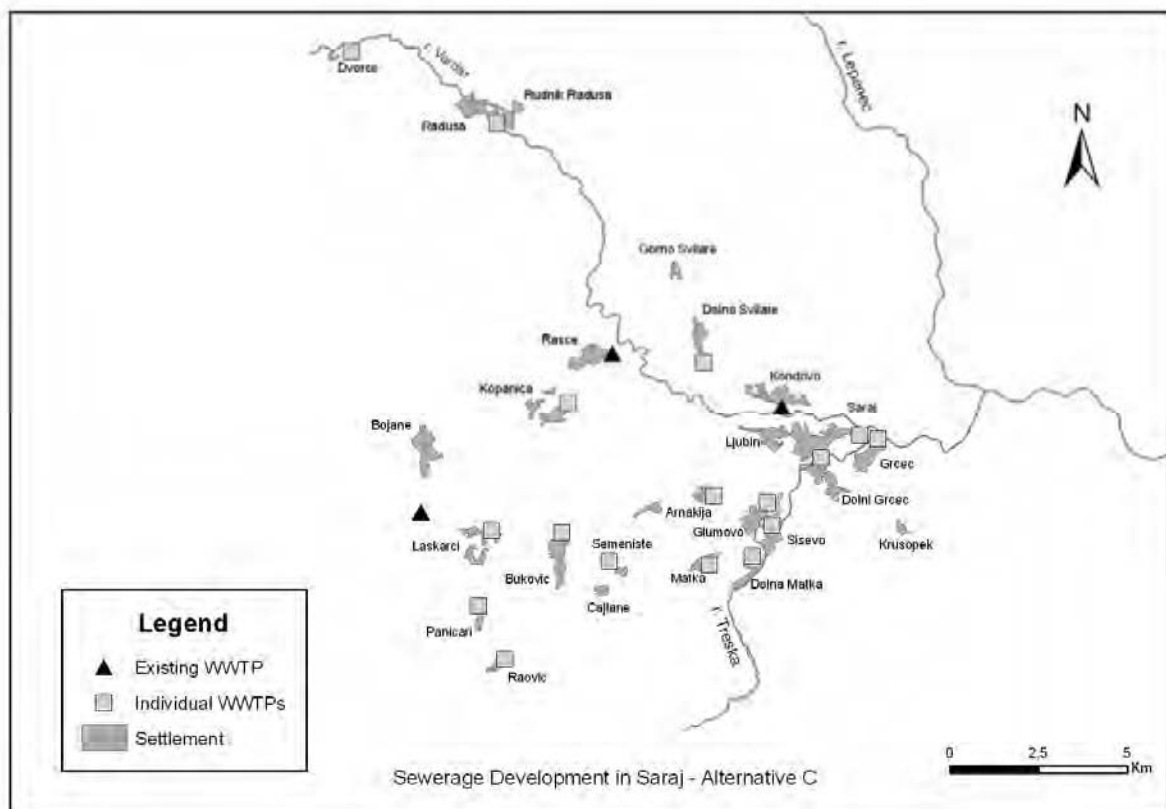


図 5.3 Saraj 区下水道整備計画案— 代替案 C

処理プロセスは好気性生物処理方式（Bio-aeration Pools）である。フローシートは、図 5.4 に示すように標準活性汚泥法に似たものである。標準活性汚泥法の反応タンクの働きをする Bioaeration Basin の滞留時間は標準活性汚泥法の反応タンクと同等の 8 時間であり、その他の設備も標準活性汚泥法と同様である。

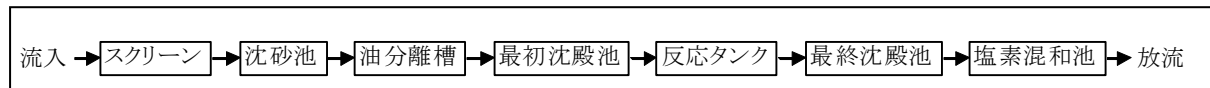


図 5.4 好気性生物処理方式（Bio-aeration Pools）の処理フロー

5.2.2 本調査における技術的レビュー

Saraj 区の実施した F/S では、Saraj 区内の集落は点在しており、集落間を結ぶ長い幹線管きよの建設が必要となる集約案（代替案 A）は、多くの下水処理場を建設する分散案（代替案 C）に比較して建設費が高いことから、分散案（代替案 C）が最も経済的であると結論付けている。しかし、計画人口が 4,000 人程度の小規模な下水処理場 17 ヶ所の適切な運転管理が可能かとの疑問もある。F/S では下水処理場を管理する要員を各々数人と想定して安価な維持管理費を見込んでいるが、その実現には、維持管理が容易でかつ一定の処理効率を担保する処理技術が必要である。

5.2.3 環境及び事業実現度面

Saraj 区は、その全体がスコピエ市の主要水源である Rasce 湧水水源の保護区域に指定されている。さらにバルダル川の支流である Treska 川の一帯も自然保護区域に指定されている。このために、環境都市計画省の支援により、この F/S 及び Saraj 区環境活動計画が策定された経緯がある。このような計画策定の経緯と、その事業規模が小さいことから、IPA ファンド適用により事業の早期実現も期待されている。

5.2.4 政策面

Saraj 区当局は Saraj 処理区を中央処理区とは切り離して整備し、維持管理も独自に行う意向も表明している。Saraj 区が独自に下水道施設を設置し管理することは地方自治法で認められている。一方、Saraj 区も含めた 10 区で構成するスコピエ市の権限を規定するスコピエ市法では、各区に分割できない事業は市で行なうとしているが、Saraj 区の下水道事業が分割できるかどうかは明確でないが、最終的にはスコピエ市長と Saraj 区長の調整で決まるものと思われる。Saraj 区はアルバニア系の住民が多数を占めており、政治的には分離する方向になると思われる。

5.2.5 Saraj 処理区の併合分離に関する本調査の方針

Saraj 区が独自に下水道事業を進めるには技術的には克服すべき課題はあるが、既に完成した下水処理場があり、新たな下水処理場の設計も進んでいる。また、Saraj 処理区を中央処理区と併合するには幹線管きよのバルダル川横断工事にとまなう建設費が新たに発生する。これらのことから、Saraj 区の計画に従い Saraj 区内で独立した処理する代替案 C が妥当と判断する。

5.3 North Gorce Petrov 処理区

5.3.1 概要

Gorce Petrov 区の南部は市中央部に連なる市街を形成しており、既に中央処理区の一部として下水道整備がなされている。一方、区北部にあたる North Gorce Petrov 処理区（旧 Novo Selo）については、幹線管きよの布設工事（管径：600mm、延長:2.5km）を行っており 2008 年に完成の予定である。枝線の布設は今後の事業であるが、事業費の一部は住民から受益者負担金をあてる計画であり、徴収に関して住民の了解を得ている。下水処理場の建設については、建設予定地を決定し、用地の取得に関し地主と交渉中であるが了解が得られない場合は提訴を辞さないと、区当局は強気であり、自主的に事業を進める姿勢を見せている。ただし、今のところ下水処理場建設資金の用途は立っておらず、処理方式等の仕様も決まっていない。表 5.4 に計画の諸元を示す。

表 5.4 North Gorce Petrov 処理区下水道計画の諸元

		計 画 諸 元	
		Gorce Petrov 区の計画	本基本計画
目標年次	管きよ	2030 年	2030 年
	下水処理場		2020 年
計画人口		16,000 人	13,200 人 (2020 年) 16,100 人 (2030 年)
生活汚水量原単位		688 リットル/人日	200 リットル/人日
計画汚水量			
生活汚水		11,000 m ³ /日	2,640 m ³ /日 (2020 年) 3,220 m ³ /日 (2030 年)
工場廃水		6,000 m ³ /日	0 m ³ /日
合 計		17,000 m ³ /日	2,640 m ³ /日 (2020 年) 3,220 m ³ /日 (2030 年)
汚水処理レベル		未定	---
汚水処理プロセス		未定	---
事業費 (幹線管きよのみ)		21,800 千 MKD (約 350 千 EUR)	---

5.3.2 本調査における技術的レビュー

Gorce Petrov 区の場合は、North Gorce Petrov 処理区を中央処理区とは分離するものである。しかし、North Gorce Petrov 処理区は中央処理区に近接しており、中央処理区に併合する案も代替案として検討に値する。

表 5.4 に示した区の計画の諸元では、生活汚水量原単位を 688 リットル/人日としており、計画人口 16,000 人に対して計画汚水量は工場廃水量を含め 17,000 m³/日である。一方、本基本計画では、スコピエ市全域の水道水消費量をもとに生活汚水量原単位を 200 リットル/人日としており、この値を用いると計画人口 16,100 人に対して計画汚水量は 3,220 m³/日（2030 年）となる。

以下に、本基本計画による計画汚水量 3,220 m³/日を用いて North Gorce Petrov 処理区を中央処理区に併合する案を検討する。

North Gorce Petrov 処理区の諸元は次のとおりである。

North Gorce Petrov 処理区

計画人口(2030 年):	16,100 人
日平均汚水量:	3,220 m ³ /日
時間最大汚水量:	6,440 m ³ /日 (= 0.075 m ³ /秒) (ピークファクターを 2.0 と仮定)
幹線管きょ管径(必要径):	450 mm (流速を 1.0 m/秒と仮定)

中央処理区のうち Gorce Petrov 区南部地区のための幹線管きょ(管径 900mm)が North Gorce Petrov 処理場予定地から南へ約 1.5km の地点を通っている。Gorce Petrov 区南部地区の計画人口は 2030 年で 41,300 人である。

中央処理区 (Gorce Petrov 区南部地区)

計画人口(2030 年):	41,300 人
生活汚水量:	8,260 m ³ /日
工場廃水量:	2,561 m ³ /日 (生活汚水量の 31%と仮定)
日平均汚水量計:	10,821 m ³ /日
時間最大汚水量:	21,642 m ³ /日 (= 0.251 m ³ /秒) (ピークファクターを 2.0 と仮定)
幹線管きょ管径(整備済み):	900 mm
幹線管きょ流下能力:	0.382 m ³ /秒 (流速を 1.2 m/秒、余裕率を 100%と仮定)

既設幹線(管径 900 mm)の流下能力(0.382 m³/秒)は中央処理区(Gorce Petrov 区南部地区)と North Gorce Petrov 処理区の汚水量の合計(0.326 m³/秒)に対して十分である。従って、North Gorce Petrov 下水処理場から既設幹線管きょまでの連絡管の延長は約 1.5 km である。なお、接続点から下流、中央下水処理場までの幹線管きょの流下能力は十分である。

Gorce Petrov 区が計画している下水道整備事業を代替案 A、本調査で提案する中央下水処理場に接続する案を代替案 B とし比較検討する(図 5.5 参照)。両案で共通の枝線管きょの整備費、North Gorce Petrov 下水処理場までの幹線管きょの布設費を比較から除くこととする。分離案(代替案 A)では処理能力 3,220m³/日の新規処理場の建設費を、併合案(代替案 B)では接続管(径 450mm、延長 1.5km)の布設費を計上した。併合案における中央下水処理場の能力の増強(166,000→169,500m³/日)の建設費は新規に建設するよりは小さい。維持管理費に関しては、分離案では下水処理場の維持管理費が発生するのに対し、併合案における処理水量増加にともなう中央下水処理場の維持管理費の増加はわずかである。表 5.5 に示すように、分離案の建設費は統合案より高く、経済性では統合案が有利である。詳細は Appendix Part I, 5.1 を参照のこと。

表 5.5 代替案の建設費の比較 (North Gorce Petrov 処理区)

	分離案 (代替案 A)	併合案 (代替案 B)
建設費 (EUR)		
幹線管きょ (管径 450 mm, 延長 1.5km)	0	180,000
NGP 下水処理場新設 (3,220 m ³ /日)	1,771,000	-
中央下水処理場能力増強 (+3,220 m ³ /日)	-	1,328,000
合計	1,771,000 (大)	1,508,000 (小)

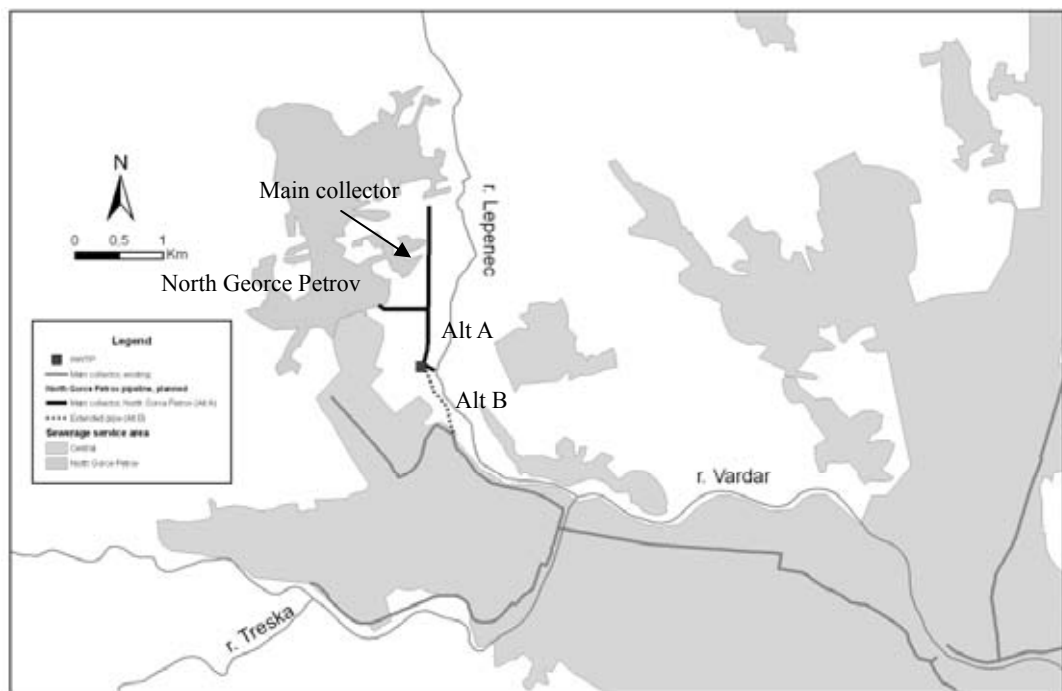


図 5.5 North Gorce Petrov 下水道整備計画の比較

5.3.3 環境・政策面

この地域は農村部であり住民は市のサービス（水道、ゴミ収集など）を受けておらず、住民税（Communal Tax）を支払っていない。下水道建設に当たり、区と住民は住民総会を開催し下記の合意の基に建設を進めた。すなわち、下水道整備費用負担額は住民 1 軒当たり 500EUR、残りの 60% をスコピエ市、40%を区が負担する。合意した計画を変更して中央処理区に併合すると、管きよの延長分の建設費の費用負担割合、住民との合意事項の修正、区内での事務手続き、各種承認等にかかなりの時間を要することが考えられる。

North Gorce Petrov 処理区の下流にあたるバルダル川と Lepenec 川合流部の地下水（伏流水）は、夏の渇水期にはスコピエ市の水道水源となる。地下水の保全を考慮する上で、North Gorce Petrov 処理区の下水道整備は非常に重要である。

5.3.4 本調査における方針

経済性と維持管理の確実性の面では中央処理区への併合が有利であるが、既に下水処理場の用地取得の手続きが進んでいること、事業費の分担に関する合意がなされていること、環境面から早期の稼働が求められていることを考慮すると、North Gorce Petrov 処理区を中央処理区に併合せず、区の計画のとおり、North Gorce Petrov 処理区を独立した処理区とすることもやむを得ないと判断する。

また、区の説明によると、North Gorce Petrov 処理区の北側にバイパス道路（国の東西幹線の一部）の完成にあわせ、バイパス道路までの農地や空き地に 50,000 人規模の宅地造成を計画している。この計画は、近く改定予定であるスコピエ市の都市計画でも採択される予定である。この宅地造

成計画を考慮すると、中央処理区の新設予定の幹線管きょの管径に影響する上、既存の幹線管きょの流下能力の増強（増補幹線の布設）が必要となる。以上を踏まえると、North Gorce Petrov 処理区と中央処理区とを別々に計画することが適当である。

5.4 Dracevo 処理区

5.4.1 概要

Dracevo 処理区は、スコピエ市の Aerodrom 区と Kisela Voda 区の他、スコピエ市外の Studenicani, Morani, Batinti の集落が含まれる。処理区の中心的居住区である Naselba Dracevoa 地区にはポンプ場と下水処理場（インホフ・タンク）がある。この下水処理場は 1965 年に建設されたが、消耗品等の定期的な交換等がなされておらず長い間稼動していない。現在、この下水処理場に流入した汚水はポンプで専用排水路へ排出された後、未処理のまま小河川を経てバルダル川に流入している。Dracevo 地区を管轄する Kisela Voda 区は Dracevo 地区の新下水処理場の設計を完了しており、現在、事業費の融資を援助機関に対して要請しているところである。表 5.6 に計画の概要を示す。

表 5.6 Dracevo 処理区下水道計画の諸元

		計 画 諸 元	
		Kisela Voda 区の計画	本基本計画
目標年次	管きょ	---	2030 年
	下水処理場		2020 年
計画人口等量		30,000 人	39,900 人 (2020 年) 43,200 人 (2030 年)
生活污水量原単位		540 リットル/人日	200 リットル/人日
計画汚水量		16,200 m ³ /日	7,980 m ³ /日 (2020 年) 8,640 m ³ /日 (2030 年)
幹線管きょ		径 700 mm, 944 m	
汚水処理レベル		二次処理	---
汚水処理プロセス (新下水処理場)		接触安定化法	---
事業費 (幹線管きょのみ)		3,534,000 EUR	---

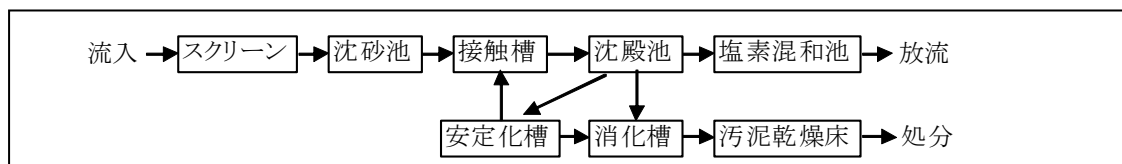


図 5.6 接触安定化法（Contact Stabilization Process）の処理フロー

図 5.6 に接触安定化法のフローを示す。このプロセスは、標準活性汚泥法の変法である。標準活性汚泥法では、エアレーションタンク内において最初の 30 分程度の間には有機物を吸着し、その後、緩やかに活性汚泥の内生呼吸によって有機物が除去される。接触安定化法では、接触槽（contact tank）で吸着作用を活用する。接触槽の後段には沈殿池を設ける。しかし、これだけでは十分に有機物が除去されないため、安定化槽（stabilization tank）で未分解の有機物を分解させ、接触槽に返送する。このような繰り返しで下水を処理するものである。大規模な下水処理場になると処理を安定させるための安定化槽が大きくなり、小規模向きの処理プロセスであると言われている。

5.4.2 本調査における技術的レビュー

Kisela Voda 区が実施している下水道整備計画を代替案 A、本調査で提案する中央下水区に併合する案を代替案 B と比較検討した（表 5.7、図 5.7 参照）。代替案 B の Dracevo 処理区を中央処理区に併合するには、中央処理場まで約 7km の幹線管きょと途中に 3 ヶ所の中継ポンプ場が必要となり、建設費、維持管理費とも分離案より割高となる。また、分離案（代替案 A）では、処理区内に工場がないことから下水処理水及び下水汚泥の農業利用の可能性が高いことが利点としてあげられる。中央処理区への連結よりも分離した独立の処理区とするのが望ましいと考える。詳細は Appendix Part I, 5.1 を参照のこと。

表 5.7 代替案の建設費と維持管理費の比較 (Dracvo 処理区)

	分離案 (代替案 A)	併合案 (代替案 B)
建設費 (EUR)		
下水処理場新設 (8,000 m ³ /日)	4,400,000	
中央下水処理場 (8,000 m ³ /日増設)		3,300,000
幹線管きょ (径 1500mm, 7,000m)		2,520,000
中継ポンプ場 3 ヶ所		1,200,000
合計	4,400,000 (小)	7,020,000 (大)
維持管理費 (EUR/年)		
下水処理場	73,000	73,000
中継ポンプ場 3 ヶ所	0	47,000
合計	73,000 (小)	120,000 (大)

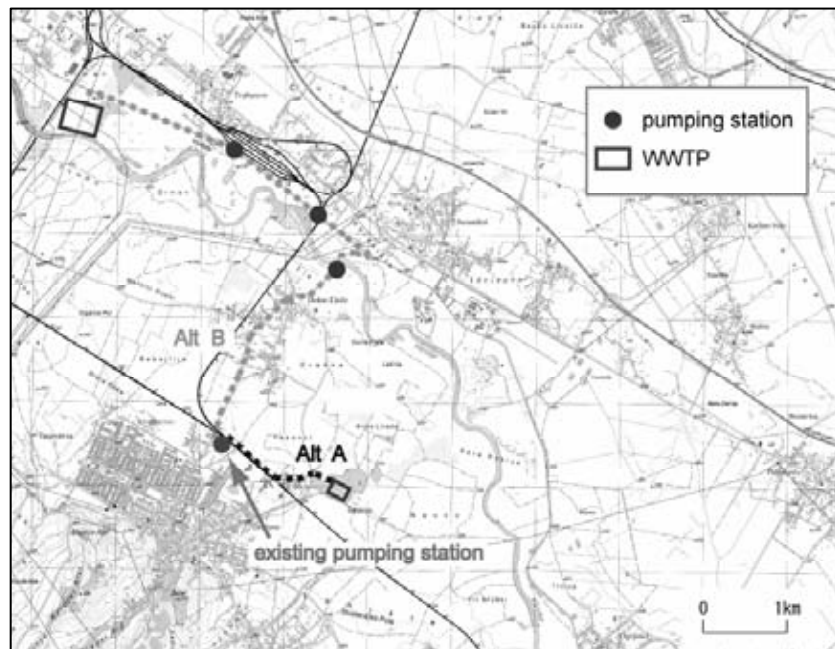


図 5.7 Dracevo 下水道整備方法の比較

5.4.3 環境・政策面

Kisela Voda 区の方針は、Dracevo 地域の汚水を中央下水処理場ではなく、Dracevo 下水処理場で処理するものである。区は下水処理場建設に積極的であり、援助機関に対して融資の要請をしてい

る。また、新下水処理場用地は既に確保済みである。区の計画では下水処理水を農業用水として使用することになっており、中央処理区に当地域の汚水が送水されることになると農業用水の確保に支障をきたすことになる。

5.4.4 本調査における方針

Kisela Voda 区では、新たな下水処理場を建設する計画を進めている。実施設計まで終わっており、資金提供先を探している段階である。処理水は農業用水として再利用する考えとなっており、地域の水事情を反映した内容になっている。計画上の観点からは、当該居住区だけでなく、周辺の居住区も合わせて事業を進めるのが望ましいと思われるが、他区との協力が障害となっている事情もあり、実現には時間がかかりそうである。従って、基本計画としては、スコピエ上下水道公社とも協議した結果、将来像として Dracevo 処理区に区外及び市外の区域も流入させた姿を提言している。

