

APOLONIA OSTROWSKA¹, OLESIA GUMNICKA²,
MAGDALENA JANEK²

Krażenie składników w drzewostanach sosnowych w Leśnej Oczyszczalni Ścieków w Iławie

Circulation of elements in pine stands
at the Forest Sewage Cleaning Facility of Iława

Abstract. Potato industry sewage used during 14 years in a pine stand (on the sewage cleaning facility area) caused disturbances in circulation of elements in the forest environment. The results of element balance in the system: inflow with sewage – accumulation in stand and soil (down to 50 cm) point out, that only a part from the amount of elements put with the dose 300 mm/yr in stays in the stand. The losses, i.e. the flow out the tree root system zone amount yearly to about: N-300 kg, K-800 kg, Ca-150 kg, Na-20 kg, and P.-few kg.

Keywords: stands, sewage, elements, circulation

Wprowadzenie

Gospodarka wodno-ściekowa jest przedmiotem szczególnej uwagi zarówno w dużych i małych aglomeracjach miejsko-przemysłowych, jak i w pojedynczych zakładach przemysłowych. Zakłady przetwórstwa rolno-spożywczego produkują ścieki o stosunkowo małym ładunku substancji toksycznych, w tym zwłaszcza metali ciężkich, jakkolwiek ładunek substancji organicznej mierzony zapotrzebowaniem na tlen (BZT) jest znaczny. Ścieki takie mogą w prosty sposób być oczyszczone w glebie, gdzie następuje szybki rozkład substancji organicznej. W tym celu buduje się coraz więcej tzw. gruntowo-roślinnych oczyszczalni ścieków (zbiorniki, rurociągi, zraszacze).

Mimo, że funkcjonuje już wiele oczyszczalni gruntowo-roślinnych, rzadko w literaturze można napotkać prace dotyczące bilansu składników w takich oczyszczalniach. Ciągłe jeszcze nie wiadomo, ile składników dopływających do środowiska wraz ze ściekami pozostaje w pokrywie glebowo-roślinnej, ile zaś przepływa do wód gruntowych i powie-

¹ Instytut Ochrony Środowiska

² Instytut Badawczy Leśnictwa

rzchniowych. Podkreślić należy, że w zróżnicowanej przestrzeni przyrodniczej ilościowa ocena krążenia składników w układzie: dopływ – akumulacja – odpływ, jest trudna zarówno pod względem wykonania różnorodnych pomiarów, jak i interpretacji uzyskanych wyników.

Zakład przetwórstwa ziemniaków na mączkę funkcjonuje w Iławie od roku 1960, a w połowie lat siedemdziesiątych zdecydowano o rozpoczęciu budowy oczyszczalni grunto-roślinnej w drzewostanie sosnowym na siedlisku boru świeżego (Bśw). Eksploatację tzw. eksperymentalnej oczyszczalni obejmującej 216 ha rozpoczęto w 1984 roku, pierwsze ścieki wprowadzono do drzewostanu jesienią 1984 r. Przyrodnicze podstawy budowy i eksploatacji oczyszczalni oraz osłonę naukową opracował i prowadzi Instytut Badawczy Leśnictwa w Warszawie. Badania nad oddziaływaniem ścieków ziemniaczanych na leśne gatunki drzewiaste w pierwszej fazie prowadzono głównie w doświadczeniach lizymetrycznych [6]. Jednocześnie z gospodarczo eksploatowanej powierzchni wydzielono w drzewostanach sosnowych różnego wieku powierzchnie badawcze, które zróżnicowano pod względem dawki stosowanych ścieków (0, 120, 240, 300, 600 mm/rok).

Stosowane ścieki systematycznie analizowane są na zawartość poszczególnych składników i substancji. Analizowane są także wody gruntowe pobierane ze studzienek zlokalizowanych na terenie oczyszczalni i poza oczyszczalnią. Okresowo prowadzone są pomiary właściwości gleb i drzewostanu. Uzyskiwane wyniki są prezentowane w corocznych sprawozdaniach naukowych [maszynopisy, biblioteka IBL] oraz podsumowywane w kolejnych publikacjach [3, 4, 6, 7, 12].

W niniejszej pracy przeprowadzono próbę bilansu składników w układzie: dopływ (ścieki) - akumulacja (pokrywa glebowo-roślinna) – odpływ (wody gruntowe).

Materiały i metody

Przedmiotem badań były powierzchnie zlokalizowane w drzewostanie sosnowym około 60 i 100-letnim, nawadniane dawką ścieków 0, 300 i 600 mm/rok. Ścieki wprowadzano przeciętnie w 10 polewach w okresie kampanii ziemniaczanej od września do końca roku, w kolejnych latach od 1984 do 1997 roku. Ponadto latem każdego roku powierzchnie te nawadniano wodą z jeziora w ilości 140-280 mm/rok, zależnie od ilości opadów. Każdorazowo dawka polewowa wynosiła 30 mm ścieków i 20 mm wody. Dodać należy, że z różnych przyczyn nie we wszystkich latach spełniono przyjęte założenia, np. w 1997 roku zastosowano tylko dawki 120 i 240 mm ścieków i 140 mm wody.

Aby prześledzić przepływ składników wprowadzanych wraz ze ściekami, opracowano szczegółową metodykę badań oceny bilansu krążenia składników w układzie: dopływ – akumulacja – odpływ. Metody badań terenowych i laboratoryjnych oraz szczegółowe procedury postępowania opisano w oddzielnym opracowaniu [14].

Zgodnie z wymienioną metodyką, na powierzchniach badawczych przeprowadzono następujące pomiary:

- miąższości poziomów genetycznych gleby w warstwie występowania głównej masy korzeni drzew,

- objętościowej i wagowej masy gleby w wymienionych poziomach,
- aktualnej wilgotności gleby,
- zawartości i zapasu w glebie do głębokości około 50 cm: węgla, azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, sodu oraz niektórych mikroelementów,
- podstawowych cech drzewostanu, tj. wysokości, pierśnicy i miąższości, a także masy poszczególnych jego elementów w 62-letnim drzewostanie,
- zawartości składników (N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn, Zn, Cu, Pb) w igłach, korze i drewnie.

Dopływ składników obliczono wykorzystując systematyczne pomiary ilości i składu chemicznego ścieków wykonywane przez pracowników oczyszczalni. Wykorzystano także wieloletnie dane w zakresie masy i składu chemicznego runa i ściółki [Sprawozdania IBL 1994, 1995, 1996, 1997].

Akumulację składników w drzewostanie określono na podstawie pomiarów masy drzew (drewno, kora, igliwie) i zawartości w niej poszczególnych składników. Podobnie oceniono akumulację w glebie, określając masę gleby w poszczególnych poziomach genetycznych i zawartość w niej substancji organicznej i składników mineralnych. Na podstawie jednorocznych wyników akumulacji składników w drzewostanie oraz wieloletnich w zakresie dopływu składników, w niniejszym opracowaniu przeprowadzono próbę bilansu składników w układzie: dopływ – akumulacja – odpływ, zdając sobie jednocześnie sprawę, że jednoroczne wyniki badań są daleko niedostateczne.

Omówienie wyników

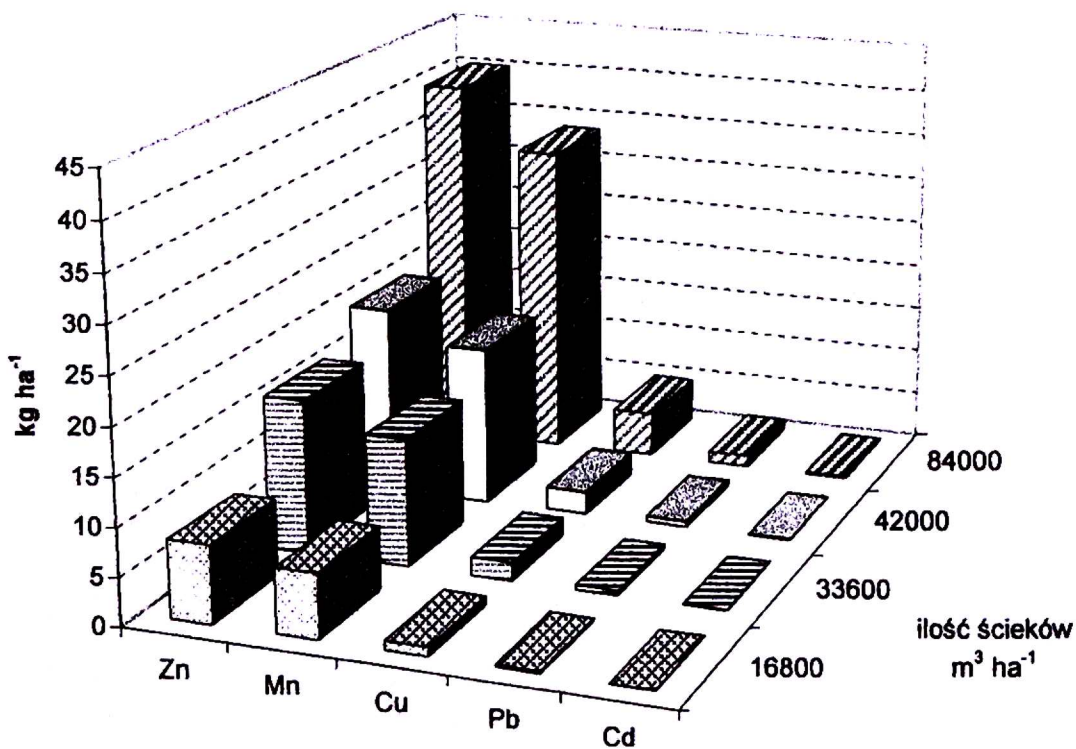
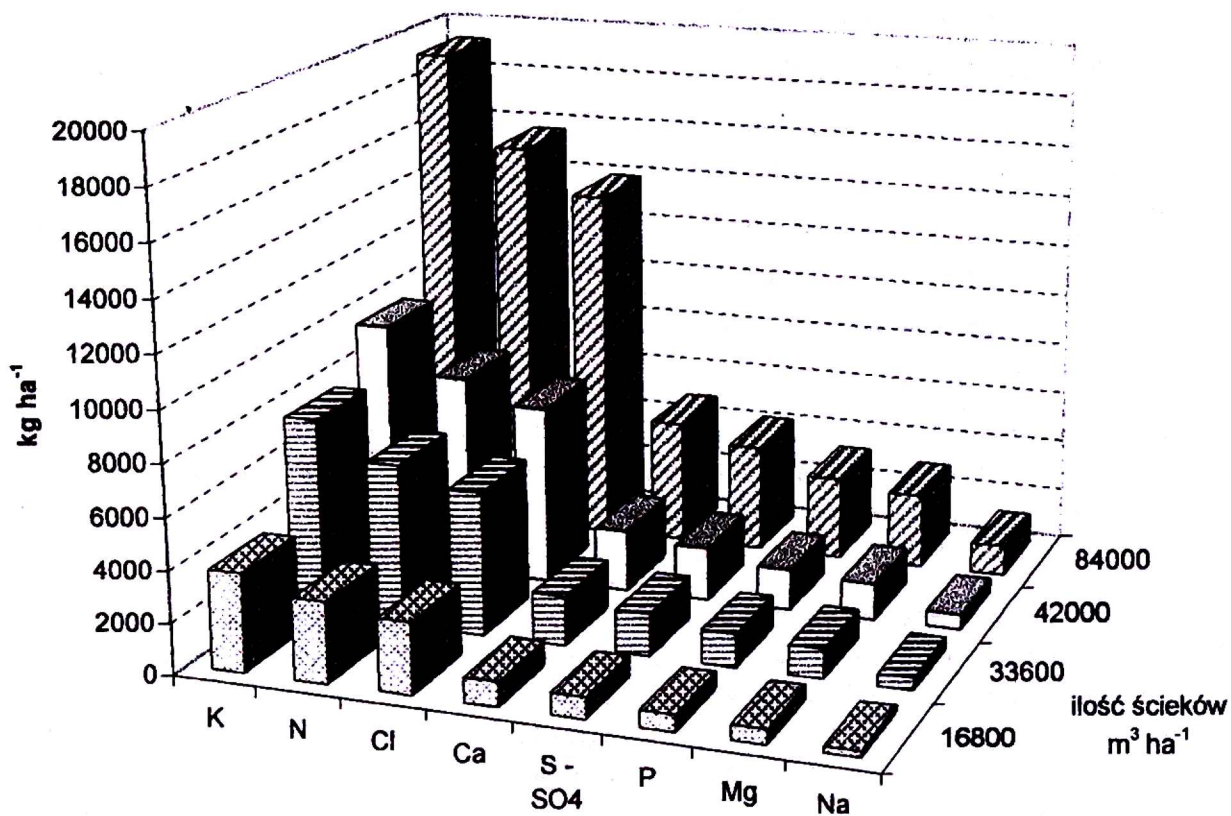
Dopływ składników do drzewostanu

Zawartość składników w ściekach nie jest stała. Przykładowo, zawartość azotu w ściekach z lat osiemdziesiątych wynosiła około 72 mg/dm³, a w latach dziewięćdziesiątych wahała się między 190-250 mg/dm³. Znaczne wahania odnotowano także w przypadku wapnia i sodu. Ostatecznie do oceny dopływu składników do drzewostanu przyjęto wartości średnie z różnych lat.

Wraz z dawką ścieków 300 mm/rok do drzewostanu wprowadzano azot i potas po kilkaset kg/ha, a wapń, fosfor i magnez w granicach 100-150 kg/ha. Przy dawce ścieków 600 mm/rok wartości te były dwukrotnie większe. Ilości te po 14 latach stosowania ścieków wynosiły: około 8-16 tys. kg N; 10-20 tys. kg K; po około 1,5-3 tys. kg P i Mg; 2,4-4,8 tys. kg Ca oraz 0,6-1,2 tys. kg Mn, a także kilka tys. kg S-SO₄ i kilkanaście tys. kg Cl (ryc. 1). Równocześnie wraz z wodą wniesiono około 800 kg Na, 1200 kg Ca, 250 kg Mg, 150 kg N. Dodać należy, że w porównaniu ze ściekami woda była głównie źródłem wapnia, sodu i magnezu.

Akumulacja składników w drzewostanie

W wariancie "0", czyli na powierzchni nienawadnianej, liczba drzew wynosi 918 szt./ha, a na powierzchni nawadnianej dawką 600 mm tylko 648 szt./ha. Różnica ta w istotny sposób



120 mm
 240 mm
 300 mm
 600 mm

RYC. 1. Liczba składników wprowadzona wraz ze ściekami na powierzchnie badawcze (suma z 14 lat) przy średniej rocznej dawce ścieków 120, 240, 300 i 600 mm

TABELA 1

Podstawowe cechy 62-letniego drzewostanu sosnowego nawadnianego ściekami

| Dawka ścieków | Liczba drzew | Wysokość m | Pierśnica cm | Miaższość m ³ /ha | Igliwie kg/m ³ | Gałęzie kg/m ³ | Masa jednego drzewa | | Cv drewna g/cm | Zawart. wody % | |
|---------------|--------------|------------|--------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---|----------------|----------------|------|
| | | | | | | | pień kg/szt | gałęzie ¹ igły I ² igły II ² | | | |
| 0 | 918 | 21,9 | 21,7 | 311 | 28,5 | 132,6 | 44,9 | 6,1 | 3,6 | 1,06 | 44,0 |
| 600 | 648 | 21,2 | 22,5 | 248 | 24,8 | 133,1 | 50,9 | 6,3 | 3,2 | 1,02 | 44,8 |

¹ przyjęto zawartość wody – 40% w świeżej masie² przyjęto zawartość wody – 50% w świeżej masie

TABELA 2

Akumulacja substancji organicznej w 62-letnim drzewostanie sosnowym nawadnianym ściekami

| Dawka ścieków [mm] | Średnia sucha masa drzewa [kg/szt.] | | Różnica między dawkami ścieków [%] | Sucha masa drzewo-stanu [kg/ha] | Różnica między dawkami ścieków [%] | Różnica między dawkami ścieków [%] |
|--------------------|-------------------------------------|---------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | 0 | 600 | | | | |
| Drewno | 190,7 | 201,2 | +5,5 | 175 062 | 130 378 | -25,5 |
| Kora* | 9,5 | 10,1 | +5,5 | 8721 | 6480 | -25,7 |
| Gałęzie | 27,0 | 30,5 | +13,0 | 24 786 | 19 764 | -20,3 |
| Igły I | 3,1 | 3,2 | +3,2 | 2846 | 2074 | -27,1 |
| Igły II | 1,8 | 1,6 | -11,1 | 1653 | 1037 | -37,3 |
| Σ | 232,1 | 246,6 | +6,2 | 213 068 | 159 733 | -25,0 |
| Runo | | 550 | | 550 | | |
| Ściółka | | 3840 | | 3840 | 2049 | |
| Σ | | 217 458 | | 217 458 | 162 332 | -25,4 |

* ilość symulowana na poziomie 5% wartości drewna [Mälkönen 1974]

rzutu na możliwość dalszych porównań obu kombinacji, zwłaszcza pod względem miąższości i masy drzewostanu. Jednocześnie można sugerować, że nawadnianie spowodowało w ostatnich latach znaczne wydzielanie posuszu. Sugestię tę potwierdza mała różnica w wysokości i pierśnicy drzew na porównywanych powierzchniach, a także mniejsza ilość igliwia przypadająca na 1 m^3 drewna na powierzchni nawadnianej (tab. 1).

Świeża i sucha masa jednego drzewa jest o kilka procent większa na powierzchni nawadnianej w porównaniu z powierzchnią nienawadnianą. Przy rzeczywistej ilości 918 i 648 drzew/ha różnica w akumulacji masy na porównywanych powierzchniach wynosi 25% na korzyść powierzchni nienawadnianej. Zwiększenie masy drzew o ilość masy runa i ściółki nie spowodowało zmian w różnicy między omawianymi powierzchniami (tab. 2).

Zawartość większości badanych składników w igliwiu, korze i drewnie jest większa na powierzchni nawadnianej w porównaniu z powierzchnią nienawadnianą. Szczególnie wzbogacona w składniki mineralne jest kora, w której ilość składników jest kilka, a nawet kilkanaście razy większa w wariancie "600 mm" niż w wariancie "0". Można by sugerować, że jest to wzbogacanie natury fizycznej, tj. sorpcji składników na powierzchni drzew w czasie nawadniania ściekami. Jednak, także w drewnie odnotowano zwiększenie zawartości azotu i potasu. Igliwie sosny na powierzchni nienawadnianej, w porównaniu z igliwem w tego typu drzewostanach sosnowych w Polsce jest uboższe pod względem zawartości składników, w tym szczególnie potasu. W igliwiu sosny nawadnianej odnotowano natomiast większą, niż znaną w drzewostanach na siedlisku Bśw w Polsce, zawartość azotu, potasu, siarki, a mniejszą pozostałych analizowanych składników, w tym szczególnie magnezu [15]. Porównując skład chemiczny igliwia w wariancie "0" i "600 mm" odnotowano w tym ostatnim przypadku większą zawartość w igliwiu azotu, fosforu i potasu, a mniejszą magnezu, żelaza, manganu i cynku. Na szczególną uwagę zasługuje mała, a nawet bardzo mała zawartość magnezu w igliwiu sosny nawadnianej, tak w porównaniu z wariantem kontrolnym (tab. 3), jak i zawartością tego składnika w igliwiu sosny w różnych kompleksach leśnych w Polsce [15].

Tak jak już wspomniano, porównywane powierzchnie "0" i "600 mm" różnią się liczbą drzew i miąższością na 1 ha, a tym samym masą drzewostanu. Biorąc pod uwagę, że gospodarka składnikami glebowymi zależy od liczby drzew na określonej powierzchni, za podstawę obliczeń przyjęto stan faktyczny, tj. masę 918 drzew (w kg/ha) w wariancie "0" i masę 648 drzew w wariancie "600 mm".

Również składniki zakumulowane w runie i w ściółce (surowej) mają udział w krążeniu składników w drzewostanie. Dodać należy, że masa organiczna tego materiału na omawianych powierzchniach była stosunkowo mała, a tym samym mała jest ilość składników, zakumulowana zwłaszcza w runie (tab. 4).

Akumulacja składników w masie organicznej na danej powierzchni zależy i od ilości masy, i od jej zasobności w poszczególne składniki. Na porównywanych powierzchniach, mimo że masa w wariancie "0" była większa o około 25% niż w wariancie "600 mm", to ogólna ilość zakumulowanych składników była zbliżona, a nawet większa w wariancie "600 mm". Przykładowo, na powierzchni "0" zakumulowanych było około N 450 kg/ha, P 46 kg/ha i K 104 kg/ha, a na powierzchni nawadnianej "600 mm" odpowiednio 490, 53 i 163 kg/ha.

TABELA 3

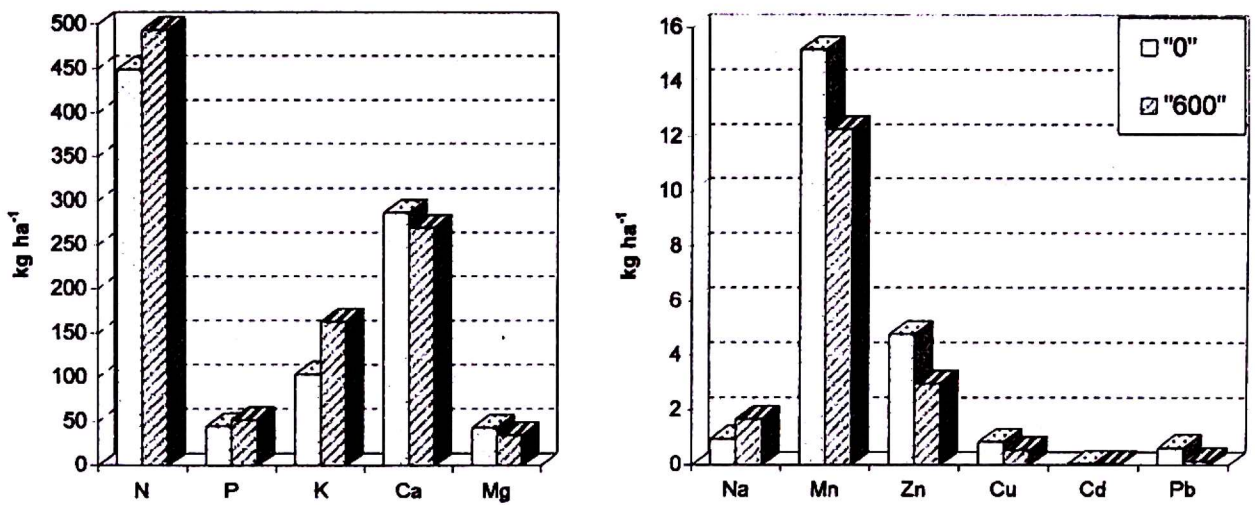
Zawartość składników w igłach, korze i drewnie w drzewostanie 62-letniej sosny nawadnianej ściekami

| Dawka ścieków mm/rok | Analizowany material | N | P | K | Ca | Mg | S | Na | Fe | Mn | Zn | Al | Cu | Cd | Pb |
|----------------------------|-------------------------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | igły I | 14,37 | 1,26 | 3,45 | 3,87 | 1,02 | 1,23 | 0,06 | 78,2 | 454 | 36,2 | 222 | n.o. | n.o. | n.o. |
| | igły II | 13,40 | 1,06 | 2,84 | 5,81 | 0,95 | 1,22 | 0,07 | 65,7 | 579 | 40,7 | 242 | n.o. | n.o. | n.o. |
| | kora | 4,13 | 0,13 | 0,18 | 4,57 | 0,09 | n.o. | n.o. | n.o. | 45 | 16,3 | n.o. | 5,9 | 0,4 | 11,6 |
| | drewno | 1,50 | 0,20 | 0,30 | 1,00 | 0,18 | n.o. | n.o. | n.o. | 60 | 22,6 | n.o. | 4,0 | 0,2 | 2,0 |
| 600 | igły I | 17,20 | 1,42 | 6,28 | 3,39 | 0,65 | 1,30 | 0,14 | 57,2 | 299 | 24,5 | 141 | n.o. | n.o. | n.o. |
| | igły II | 16,72 | 1,23 | 4,93 | 4,54 | 0,46 | 1,28 | 0,90 | 70,1 | 495 | 21,7 | 160 | n.o. | n.o. | n.o. |
| | kora | 10,10 | 1,53 | 4,10 | 12,83 | 0,98 | n.o. | n.o. | n.o. | 99 | 39,1 | n.o. | 6,8 | 0,69 | 5,4 |
| | drewno | 2,00 | 0,20 | 0,56 | 1,00 | 0,16 | n.o. | n.o. | n.o. | 67 | 14,5 | n.o. | 3,0 | 0,28 | 0,6 |

TABELA 4
Zawartość składników w runie i w ściółce w drzewostanie sosnowym nawadnianym ściekami

| Dawka ścieków [mm/rok] | Wiek d-stanu [lata] | Abs. s.m. anal. mat. [kg/ha] | [g/kg abs. s.m.] | | | | | [kg/ha] | | | | | | |
|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------|-----|------|-----|-----|---------|------|-----|------|------|-----|-----|
| | | | N | P | K | Ca | Mg | Na | N | P | K | Ca | Mg | Na |
| Runo | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 62 | 550 ¹ | 17,6 | 2,1 | 31,2 | 1,9 | 1,0 | 0,3 | 9,7 | 1,2 | 17,2 | 1,0 | 0,6 | 0,2 |
| 600 | | | 16,8 | 2,9 | 25,2 | 1,4 | 1,1 | 0,2 | 9,2 | 1,6 | 13,9 | 0,8 | 0,6 | 0,1 |
| 0 | 104 | 550 ¹ | 17,7 | 2,4 | 17,0 | 5,8 | 1,7 | 0,2 | 9,7 | 1,3 | 9,4 | 3,2 | 0,9 | 0,1 |
| 600 | | | 26,4 | 4,4 | 60,0 | 5,0 | 1,8 | 0,9 | 14,5 | 2,4 | 33,0 | 2,8 | 1,0 | 0,5 |
| Ściółka | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 62 | 3840 | 9,5 | 0,5 | 2,8 | 5,3 | 0,3 | 0,1 | 36,5 | 1,9 | 10,8 | 20,4 | 1,2 | 0,4 |
| 600 | | 2049 | 27,6 | 2,8 | 6,5 | 6,8 | 0,8 | 0,2 | 56,6 | 5,7 | 13,3 | 13,9 | 1,6 | 0,4 |
| 0 | 104 | 2710 | 12,3 | 0,6 | 2,9 | 4,5 | 0,3 | 0,1 | 33,3 | 1,6 | 7,9 | 12,2 | 0,8 | 0,3 |
| 600 | | 3082 | 19,0 | 2,0 | 5,2 | 9,5 | 0,6 | 0,2 | 58,6 | 6,2 | 16,0 | 29,3 | 1,8 | 0,6 |

¹ Plon symulowany na podstawie analizy runa w różnych siedliskach [Dyguś i Traczyk 1995]



RYC. 2. Akumulacja składników w drzewostanie sosnowym nienawadnianym (O) i nawadnianym ściekami (600 mm/rok)

Ilość magnezu i wapnia, a także oznaczanych mikroelementów była natomiast mniejsza na powierzchni nawadnianej (ryc. 2).

Akumulacja składników w glebie

Jak już wspomniano, o ilości składników zakumulowanych w siedliskach borowych w głównej mierze decyduje ilość składników zakumulowana w glebie. Dlatego też glebę przeanalizowano w szerszym zakresie niż drzewostan, włączając powierzchnię nawadnianą dawką ścieków w ilości 300 mm. Dawka ta odpowiada mniej więcej ilości ścieków stosowanych w drzewostanie eksploatowanym gospodarczo. Ponadto glebę powierzchni nienawadnianych i nawadnianych (300 i 600 mm) przeanalizowano w drzewostanie około 60 i 100-letnim.

Akumulacja substancji organicznej w glebie jest procesem dynamicznym zachodzącym w układzie: akumulacja – rozkład – akumulacja, przy czym najbardziej intensywny przebieg tego procesu obserwuje się w przypowierzchniowej warstwie gleby. W środowisku leśnym różnego rodzaju procesy, w tym też decydujące o obiegu składników, przebiegają najbardziej intensywnie w warstwie występowania głównej masy korzeni drzew i innej roślinności leśnej. Stwierdzono, że w warunkach klimatycznych Polski warstwa ta obejmuje poziomy genetyczne: organiczno-fermentacyjno-humusowy (Ofh), akumulacyjno-eluwialny (AE) i wietrzeniowy (Bv), zalegające łącznie mniej więcej do głębokości 50 cm [13]. Ta właśnie warstwa gleby, tj. poziomy genetyczne Ofh, AE i Bv, była przedmiotem naszej analizy.

W drzewostanie około 60-letnim, w glebach porównywanych powierzchni, odnotowano znaczne różnice w miąższości i gęstości poziomu Ofh. W wariancie "0" miąższość poziomu Ofh wynosiła 6,5 cm, a gęstość objętościowa 0,43 g/cm³. Po nawadnianiu dawką ścieków 300 mm wartości te wynosiły odpowiednio 4,5 cm i 1,05 g/cm³, a przy dawce 600 mm – 4,4 cm i 2,3 g/cm³. W przypadku gleby pozostałych badanych poziomów ich miąższość i gęstość była zbliżona, jakkolwiek można odnotować tendencję wzrostu miąższości pozio-

TABELA 5a

Właściwości gleb i zawartość składników w glebie w 62-letnim drzewostanie sosnowym nawadnianym ściekami

| Dawka ścieków [mm/rok] | Poziom genet. gleby | Miąższość poz. genet. [cm] | Ciężar obj. gleby [g/cm] | pH | |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl |
| 0 | Ofh | 6,5 | 0,43 | 3,95 | 2,91 |
| | AE | 6,2 | 1,17 | 3,73 | 2,93 |
| | Bv | 31,5 | 1,40 | 4,27 | 4,16 |
| 300 | Ofh | 4,5 | 1,05 | 4,22 | 3,45 |
| | AE | 7,5 | 1,13 | 4,06 | 3,06 |
| | Bv | 33,3 | 1,40 | 4,60 | 3,88 |
| 600 | Ofh | 4,4 | 2,30 | 3,95 | 3,22 |
| | AE | 8,0 | 1,03 | 3,88 | 3,03 |
| | Bv | 32,4 | 1,35 | 4,44 | 3,64 |

mu AE na powierzchniach nawadnianych. Można dodać, że na powierzchni nienawadnianej zarówno miąższość badanych poziomów, jak i ich gęstość, mieści się w granicach wartości znajdowanych w glebach tego typu drzewostanów w Polsce [13]. Nawadnianie ściekami wyraźnie oddziałuje na procesy rozkładu substancji organicznej. Tak duża gęstość gleby poziomu Ofh ($2,3 \text{ g/cm}^3$) sugeruje, że substancja organiczna ulega szybkiemu rozkładowi, przy czym może następować bardziej jej bitumizacja, niż humifikacja. O intensywności rozkładu substancji organicznej gleby świadczy też stosunek C/N prawie dwukrotnie mniejszy na powierzchni nawadnianej ściekami, zwłaszcza w ilości 600 mm/rok, w porównaniu z powierzchnią nienawadnianą.

TABELA 6a

Właściwości gleb i zawartość składników w glebie w 104-letnim drzewostanie sosnowym nawadnianym ściekami

| Dawka ścieków [mm/rok] | Poziom genet. gleby | Miąższość poz. genet. [cm] | Ciężar obj. gleby [g cm] | pH | |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------|------|
| | | | | H ₂ O | KCl |
| 0 | Ofh | 6,0 | 0,94 | 4,12 | 3,17 |
| | AE | 14,8 | 1,16 | 4,12 | 3,62 |
| | Bv | 24,8 | 1,47 | 4,42 | 4,22 |
| 300 | Ofh | 5,3 | 1,62 | 4,09 | 3,25 |
| | AE | 8,0 | 1,31 | 4,58 | 4,01 |
| | Bv | 31,5 | 1,49 | 3,84 | 3,09 |
| 600 | Ofh | 5,8 | 1,45 | 3,97 | 3,19 |
| | AE | 5,0 | 1,26 | 3,98 | 3,10 |
| | Bv | 38,5 | 1,44 | 4,85 | 3,86 |

TABELA 5b
(cd. tabeli 5a w poziomie w prawą stronę)

| C | N | P | K | Ca | Mg | Na | Mn | Zn | Cu | Cd | Pb | CN |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 311,0 | 13,1 | 0,95 | 0,42 | 0,81 | 0,42 | 0,05 | 202,7 | 52,4 | 11,35 | 0,27 | 37,5 | 23,7 |
| 21,0 | 1,2 | 0,37 | 0,27 | 0,06 | 0,14 | 0,03 | 29,6 | 17,4 | 7,04 | 0,05 | 8,4 | 17,5 |
| 1,9 | 0,3 | 0,21 | 0,24 | 0,12 | 0,25 | 0,02 | 47,5 | 20,9 | 3,82 | 0,02 | 0,3 | 6,3 |
| 265,1 | 20,3 | 2,22 | 0,73 | 1,36 | 0,79 | 0,11 | 126,9 | 44,3 | 18,40 | 0,70 | 16,7 | 13,1 |
| 25,6 | 1,7 | 0,51 | 0,46 | 0,11 | 0,20 | 0,03 | 29,0 | 12,9 | 2,30 | 1,59 | 46,1 | 15,0 |
| 4,7 | 0,6 | 0,50 | 0,27 | 0,11 | 0,25 | 0,02 | 36,5 | 13,9 | 2,30 | 0,02 | 0,3 | 7,8 |
| 307,0 | 25,3 | 3,78 | 0,94 | 1,14 | 0,78 | 0,12 | 94,4 | 47,8 | 23,60 | 0,49 | 24,1 | 12,2 |
| 23,1 | 1,8 | 0,81 | 0,47 | 0,11 | 0,23 | 0,04 | 41,2 | 13,5 | 3,64 | 1,56 | 45,3 | 12,8 |
| 3,4 | 0,5 | 0,65 | 0,34 | 0,11 | 0,24 | 0,03 | 1,4 | 15,8 | 2,39 | 0,02 | 0,3 | 6,8 |

TABELA 6b
(cd. tabeli 6a w poziomie w prawą stronę)

| C | N | P | K | Ca | Mg | Na | Mn | Zn | Cu | Cd | Pb | CN |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-----|-------|------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 340,0 | 15,0 | 0,88 | 0,46 | 2,17 | 0,48 | 0,05 | 560,7 | 53,8 | 10,4 | 1,0 | 47,9 | 22,7 |
| 8,6 | 1,6 | 0,43 | 0,20 | 0,04 | 0,21 | 0,03 | 147,9 | 16,8 | 1,1 | 0,7 | 16,2 | 5,4 |
| 2,3 | 0,4 | 0,34 | 0,22 | 0,10 | 0,26 | 0,03 | 33,8 | 15,2 | 1,1 | 0,5 | 13,0 | 5,8 |
| 294,7 | 18,0 | 2,65 | 0,78 | 1,26 | 0,71 | 0,11 | 154,5 | 43,0 | 19,3 | 2,3 | 64,0 | 16,4 |
| 14,9 | 1,3 | 0,68 | 0,42 | 0,13 | 0,25 | 0,04 | 80,3 | 15,8 | 2,1 | 1,6 | 42,2 | 11,5 |
| 1,2 | 0,4 | 0,45 | 0,35 | 0,14 | 0,31 | 0,03 | 39,7 | 15,2 | 0,9 | 0,9 | 23,0 | 3,0 |
| 231,4 | 23,7 | 3,61 | 1,03 | 1,33 | 0,90 | 0,11 | 112,8 | 53,1 | 27,5 | 1,0 | 51,6 | 9,8 |
| 44,0 | 2,9 | 0,73 | 0,57 | 0,27 | 0,36 | 0,04 | 37,1 | 22,5 | 7,3 | 0,3 | 134,1 | 15,2 |
| 4,4 | 0,6 | 0,59 | 0,45 | 0,18 | 0,38 | 0,03 | 43,1 | 14,5 | 1,1 | 0,0 | 0,3 | 7,3 |

Zmniejszenie wartości stosunku C/N w glebie powierzchni nawadnianych wiąże się raczej ze zwiększaniem zawartości azotu niż zmniejszeniem zawartości węgla. Wprowadzanie ścieków spowodowało zwiększenie zawartości wszystkich składników (z wyjątkiem manganu) w glebie badanych poziomów genetycznych, przy czym nie odnotowano prostego związku między dawką ścieków i zawartością składników w glebie. Przykładowo, zawartość azotu, fosforu i potasu w glebie była największa w wariancie "600 mm", a stężenie pozostałych składników było zbliżone w glebie powierzchni nawadnianej "300" i "600" mm. Odczyn gleb w porównywanych wariantach: "0", "300" i "600" mm jest mało zróżnicowany (tab. 5).

W drzewostanie około stuletnim także odnotowano różnice w miąższości i gęstości gleby badanych poziomów genetycznych między powierzchniami nienawadnianą i nawadnianą. W wariancie "0" poziom AE cechuje większa, a poziom Bv mniejsza miąższość niż w pozostałych wariantach. Gęstość gleby wszystkich badanych poziomów była natomiast największa w kombinacji "300 mm". Dodać należy, że różnice gęstości gleby, zwłaszcza poziomu Ofh powierzchni nienawadnianej i nawadnianej były mniejsze (na korzyść tej ostatniej) niż w drzewostanie około sześćdziesięcioletnim. Nie odnotowano też większych różnic w odczynie gleby między badanymi powierzchniami. Zawartość składników w glebie wzrastała natomiast wraz ze wzrostem dawki stosowanych ścieków. Wyjątek stanowią mangan i węgiel, których stężenia, zwłaszcza w poziomie Ofh, zmniejszyły się od wariantu "0" do wariantu "600 mm". Zawartość węgla w poziomie AE wzrastała wraz ze wzrostem dawki ścieków. Wartość stosunku C/N w glebie drzewostanu stuletniego była mniejsza niż w glebie drzewostanu młodszego. Przykładowo, w poziomie Ofh gleby nawadnianej dawką 600 mm wartość stosunku C/N wynosiła mniej niż 10, co świadczy o daleko posuniętym rozkładzie substancji organicznej (tab. 6).

Akumulacja składników w glebie, podobnie jak w drzewostanie, zależy od stężenia danego składnika w glebie oraz od masy gleby, w której określamy zapas składników. Mając objętość i gęstość gleby każdego poziomu oraz jej wilgotność aktualną i absolutną, obliczono masę gleby w przeliczeniu na powierzchnię 1 hektara. W drzewostanie około 60-letnim masa gleby do głębokości około 50 cm wynosi od 5,1 do 5,3 mln kg, a więc różnice między wariantami są małe. Znaczne zróżnicowanie odnotowano natomiast w masie gleby poziomów Ofh badanych powierzchni, co wiąże się z różną gęstością gleby. Przykładowo, masa poziomu Ofh w wariancie "0" wynosiła około 180 tys. kg/ha, a w wariancie "600 mm" około 430 tys. kg/ha (tab. 7).

Jak już wspomniano, stężenie większości składników było większe w glebie nawadnianej ściekami w porównaniu z glebą nienawadnianą. Zrozumiałe jest więc, że akumulacja składników w masie gleby zalegającej do głębokości około 50 cm wzrasta wraz z dawką stosowanych ścieków. Przykładowo, w wariancie "0" ilość składników w glebie na obszarze 1 ha wynosi: około 80 tys. kg węgla, 4400 kg azotu, po 1300 kg fosforu i potasu, 700 kg wapnia, 1200 kg magnezu, po 100 kg sodu i cynku, 260 kg manganu. W wariancie "600 mm" natomiast ilości składników są następujące: około 160 tys. kg węgla, 14 tys. kg azotu, 4800 kg fosforu, 2200 kg potasu, 1000 kg wapnia, 1500 kg magnezu oraz po około 200 kg sodu, manganu i cynku (tab. 7).

Również w glebie drzewostanu stuletniego akumulacja składników wzrasta wraz z dawką stosowanych ścieków. Przykładowo, w wariancie "0" w przeliczeniu na 1 ha zapas

TABELA 7

Akumulacja składników w glebie w 62-letnim drzewostanie sosnowym nawadnianym ściekami

| Poziom genet. gleby | Ilość gleby [m ³ /ha] | Aktualna zawartość wody [m ³] | Ilość abs. s.m. gleby [kg/ha] | C [kg/ha] | N | P | K | Ca | Mg | Na | Mn | Zn | Cu | Cd | Pb |
|----------------------------|--|--|-------------------------------------|--------------|--------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dawka ścieków 0 [mm/rok] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ofh | 650 | 101,4 | 178 735 | 55 670 | 2327 | 170 | 75 | 145 | 75 | 10 | 36 | 9 | 2,0 | 0,05 | 6,8 |
| AE | 620 | 46,4 | 678 974 | 14 259 | 814 | 251 | 183 | 41 | 95 | 20 | 20 | 12 | 4,8 | 0,03 | 5,7 |
| Bv | 3150 | 172,0 | 4 233 600 | 8044 | 1270 | 889 | 1016 | 508 | 1059 | 85 | 203 | 89 | 16,0 | 0,08 | 1,3 |
| Σ | 4420 | 319,8 | 5 091 309 | 77 973 | 4411 | 1310 | 1274 | 694 | 1229 | 115 | 259 | 110 | 22,8 | 0,16 | 13,8 |
| Dawka ścieków 300 [mm/rok] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ofh | 450 | 242,9 | 229 635 | 60 970 | 4669 | 506 | 168 | 313 | 182 | 25 | 29 | 10 | 4,2 | 0,16 | 3,8 |
| AE | 750 | 139,2 | 710 205 | 18 460 | 1207 | 362 | 326 | 78 | 142 | 21 | 21 | 9 | 1,6 | 0,14 | 32,7 |
| Bv | 3330 | 251,8 | 4 410 252 | 22 050 | 2646 | 2205 | 1190 | 485 | 1103 | 88 | 163 | 62 | 10,1 | 0,09 | 1,3 |
| Σ | 4530 | 633,9 | 5 350 092 | 101 480 | 8522 | 3073 | 1684 | 876 | 1427 | 134 | 213 | 81 | 15,9 | 0,39 | 37,8 |
| Dawka ścieków 600 [mm/rok] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ofh | 440 | 253,8 | 432 124 | 132 624 | 10 930 | 1642 | 406 | 493 | 337 | 52 | 41 | 21 | 10,4 | 0,21 | 10,3 |
| AE | 800 | 142,6 | 681 448 | 15 686 | 1228 | 552 | 321 | 75 | 157 | 27 | 28 | 95 | 2,5 | 1,10 | 30,6 |
| Bv | 3240 | 284,3 | 4 009 000 | 13 906 | 2045 | 2659 | 1491 | 450 | 982 | 123 | 169 | 65 | 10,0 | 0,08 | 1,3 |
| Σ | 4480 | 680,7 | 5 122 572 | 162 216 | 14 203 | 4853 | 2218 | 1018 | 1476 | 202 | 238 | 181 | 22,9 | 1,39 | 42,2 |

składników wynosił około 120 tys. kg węgla, 8 tys. kg azotu, 2 tys. kg fosforu, 1200 kg potasu, 1600 kg wapnia, 1400 kg magnezu, 520 kg manganu, 170 kg sodu i 100 kg cynku. W wariancie "600 mm" wartości te układają się odpowiednio: 130 tys., 13 tys., 4700, 3000, 1600, 2500, 280, 215 i 100 kg/ha (tab. 8).

Tak więc zarówno w starszym, jak i w młodszym drzewostanie, zapas składników w glebie do głębokości 50 cm był większy na powierzchniach nawadnianych. Różnice między wariantem "0" a "300" i "600 mm" wahają się w zależności od dawki ścieków i analizowanego pierwiastka między 10 a 60%, na korzyść powierzchni nawadnianych. Wyjątek stanowi mangan, którego ilość w glebie była mniejsza na powierzchniach nawadnianych.

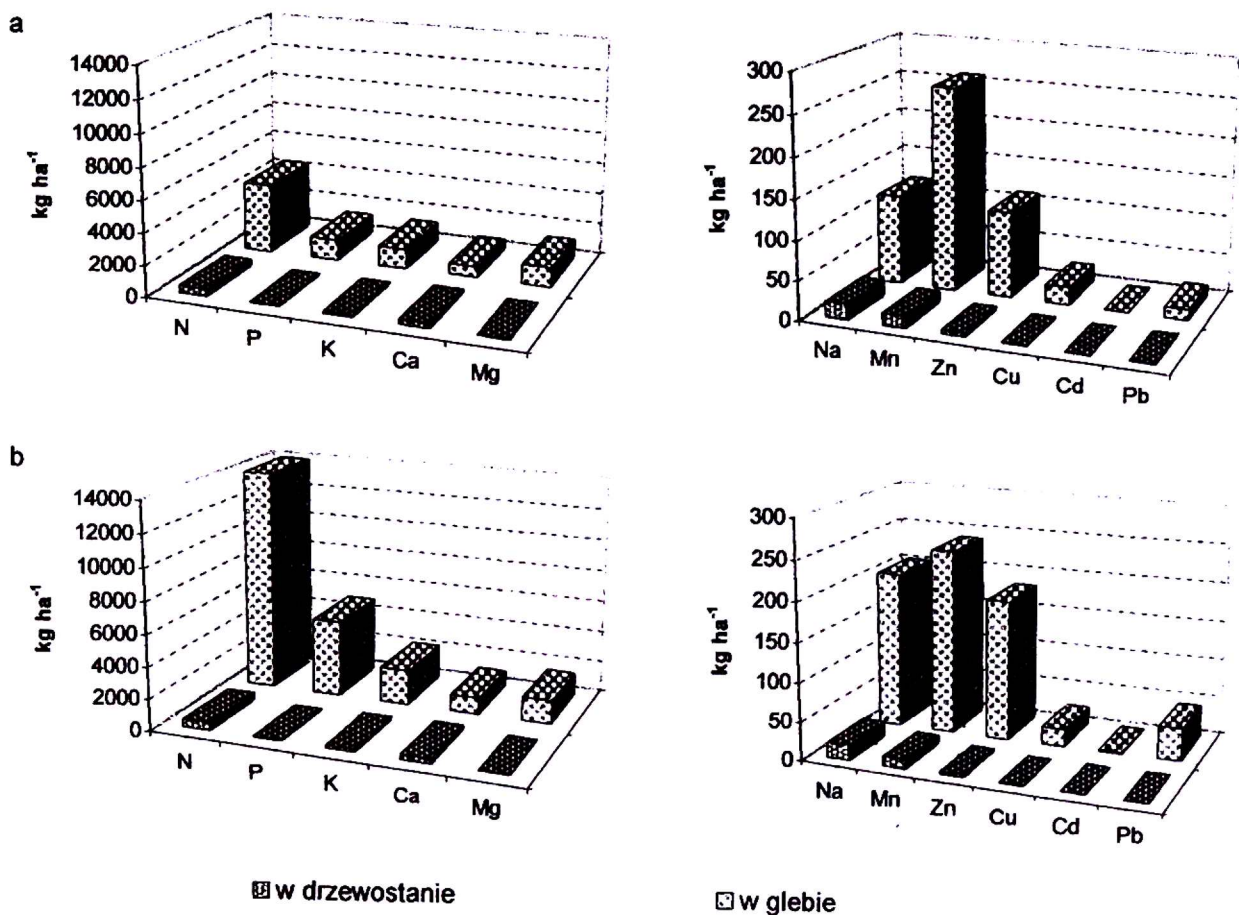
Porównując akumulację składników w glebie w drzewostanach nie nawadnianych w Łławie z innymi kompleksami leśnymi w Polsce [13] można stwierdzić, że w przypadku większości składników zapas ich w glebie pod drzewostanami w Łławie jest zbliżony do wartości znajdujących w siedliskach borów świeżych. Jednocześnie można odnotować, że gleba drzewostanów w Łławie jest zasobniejsza w azot, a uboższa w potas i wapń niż gleby w tego typu drzewostanach w innych regionach kraju. Mały zapas wapnia w glebach badanych drzewostanów powoduje, że 30-40% tego składnika akumuluje się w drzewostanie, z czego tylko część wchodzi do obiegu.

Ilość składników zakumulowanych w drzewostanie (drewno, runo, ściółka) mieści się w granicach 10% ilości zakumulowanej w glebie do głębokości około 50 cm z wyjątkiem wapnia, o czym już wspomniano (ryc. 3, 4). Próba bilansu w układzie: dopływ – akumulacja – straty, przy włączeniu tzw. natywnego zapasu w drzewostanie, tj. ilości zakumulowanej w wariancie "0" wykazała, że z wyjątkiem fosforu pozostałe dopływające składniki akumulowane są w drzewostanie i w glebie tylko częściowo. Przykładowo, z ilości składników wnoszonych wraz z dawką ścieków 300 mm w drzewostanie młodszym pozostaje około 55% azotu, 5% potasu, 6% wapnia, 15% magnezu, 3% sodu, a w drzewostanie starszym wartości te wynoszą odpowiednio 20%, 10%, 0%, 33%, 7%. Szczególną uwagę należy zwrócić na mangan, który jest z gleby wmywany wraz z przepływającymi ściekami. Odnotowano też, ale w mniejszym stopniu, wmywanie wapnia, cynku i miedzi. Przy podwójnej ilości składników wnoszonych do drzewostanu wraz z dawką ścieków 600 mm, ilości składników migrujących poza strefę głównego korzenia się drzew wzrastają mniej więcej dwukrotnie w porównaniu z dawką 300 mm (ryc. 5).

Zakładając, że przedstawiony bilans może być obciążony nawet znaczącym błędem (zbyt mała ilość danych dotyczących akumulacji), można stwierdzić, iż odpływ składników z drzewostanu jest oczywisty. Z dużym prawdopodobieństwem można określić, że z ilości składników wprowadzanych wraz ze ściekami do drzewostanu, co najmniej 50% azotu, 90% potasu, prawie 100% wapnia i 70% magnezu odpływa poza strefę korzenia się roślin (ryc. 5). Przykładowo, z wniesionych do drzewostanu składników wraz z dawką ścieków 300 mm straty wynoszą w przypadku azotu około 300 kg, fosforu – kilka kg, potasu – 800-900 kg, wapnia – 150 kg, sodu – 20 kg. Jednocześnie nie można wykluczyć, że składniki migrujące poza 50 cm warstwę gleby nie mogą być akumulowane (przynajmniej niektóre) w głębszych warstwach. O zaistnieniu takiej możliwości może świadczyć stopień zanieczyszczenia wód w rejonie oczyszczalni. Ponadto nawadnianie ściekami i wodą może prowadzić do wmywania składników glebowych, jak to ma miejsce w przypadku manganu.

TABELA 8
Akumulacja składników w glebie w 104-letnim drzewostanie sosnowym nawadnianym ściekami

| Poziom genet. gleby | Ilość gleby [m ³ /ha] | Aktualna zawartość wody [m ³] | Ilość abs. s.m. gleby [kg/ha] | C | N | P | K | Ca | Mg | Na | Mn | Zn | Cu | Cd | Pb |
|----------------------------|--|--|-------------------------------------|---------|--------|------|------|------|------|-----|-----|-------|------|-----|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dawka ścieków 0 [mm/rok] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ofh | 600 | 276 | 287 640 | 97 920 | 4320 | 253 | 132 | 625 | 138 | 15 | 161 | 16,8 | 3,0 | 0,3 | 13,8 |
| AE | 1480 | 94 | 1 622 361 | 13 957 | 2597 | 698 | 325 | 649 | 341 | 49 | 240 | 27,3 | 1,8 | 1,2 | 26,0 |
| Bv | 2480 | 139 | 3 507 068 | 8064 | 1403 | 1192 | 772 | 351 | 912 | 105 | 119 | 52,6 | 3,8 | 1,6 | 45,6 |
| Σ | 4560 | 509 | 5 417 069 | 119 941 | 8320 | 2143 | 1229 | 1625 | 1391 | 169 | 520 | 96,7 | 8,6 | 3,1 | 85,4 |
| Dawka ścieków 300 [mm/rok] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ofh | 530 | 291 | 388 087 | 114 344 | 6984 | 1028 | 303 | 489 | 275 | 43 | 60 | 16,7 | 7,5 | 0,9 | 24,8 |
| AE | 800 | 181 | 866 696 | 13 005 | 1127 | 590 | 364 | 113 | 217 | 35 | 69 | 13,9 | 1,8 | 1,4 | 36,4 |
| Bv | 3150 | 291 | 4 402 503 | 5284 | 1761 | 1981 | 1541 | 616 | 1365 | 132 | 176 | 66,0 | 3,7 | 3,7 | 101,3 |
| Σ | 4480 | 763 | 5 657 286 | 132 633 | 9872 | 3599 | 2208 | 1218 | 1857 | 210 | 305 | 96,6 | 13,0 | 6,0 | 162,5 |
| Dawka ścieków 600 [mm/rok] | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ofh | 580 | 325 | 371 722 | 86 080 | 8816 | 1343 | 383 | 495 | 335 | 41 | 42 | 20,0 | 10,4 | 0,4 | 19,3 |
| AE | 500 | 158 | 472 500 | 20 812 | 1372 | 345 | 270 | 128 | 170 | 19 | 19 | 10,8 | 3,5 | 0,3 | 6,1 |
| Bv | 3850 | 377 | 5 167 080 | 22 735 | 3100 | 3049 | 2325 | 930 | 1963 | 155 | 222 | 75,0 | 5,7 | 0,1 | 1,6 |
| Σ | 4930 | 860 | 6 011 302 | 129 627 | 13 288 | 4737 | 2978 | 1553 | 2468 | 215 | 283 | 105,8 | 19,6 | 0,8 | 27,0 |

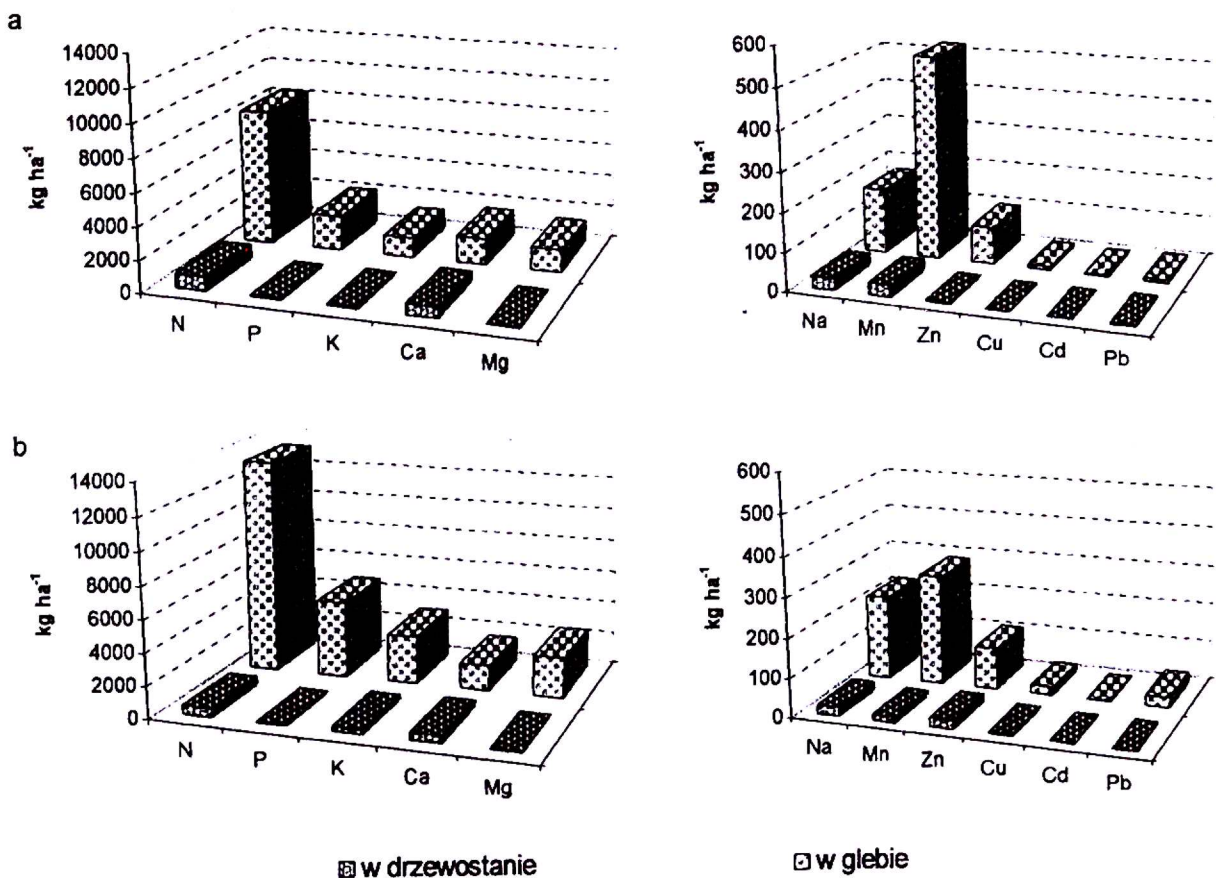


RYC. 3. Akumulacja składników w glebie i 62-letnim drzewostanie sosnowym: a – nienawadnianym ściekami, b – nawadnianym ściekami (600 mm)

Zawartość składników w wodach

Analiza wód gruntowych wykazała, że zarówno w roku 1984, jak i w 1997 zawartość badanych składników w wodzie wahała się znacznie w zależności od lokalizacji punktu badawczego (studzienki). Dodać należy, że w roku 1984 zawartość składników w badanych wodach była z reguły większa niż w roku 1997, przy czym największe ilości składników znajdowano w wodzie ze studzienek nr 3 i 6. Pierwsza z nich zlokalizowana jest na terenie oczyszczalni, druga natomiast poza oczyszczalnią, ale na drodze przepływu wód gruntowych (ryc. 6). Duże stężenie składników w wodzie ze studzienki nr 6 wyraźnie wskazuje, że składniki wprowadzone do drzewostanu wraz ze ściekami przemieszczają się do wód gruntowych, a następnie mogą przepływać daleko poza oczyszczalnię. Trudno jednakże określić jednoznacznie jakie ilości poszczególnych składników przepływają do wód każdego roku po nawadnianiu drzewostanu, choćby z uwagi na brak określenia bilansu wodnego w badanych drzewostanach.

Obliczone straty składników w układzie: dopływ – akumulacja – odpływ uwiadcniają się wyraźnie tylko w przypadku azotu, którego duże ilości występują w wodzie w postaci azotanów, a także w postaci organicznej. Prawie 95% potasu przepływa natomiast poza

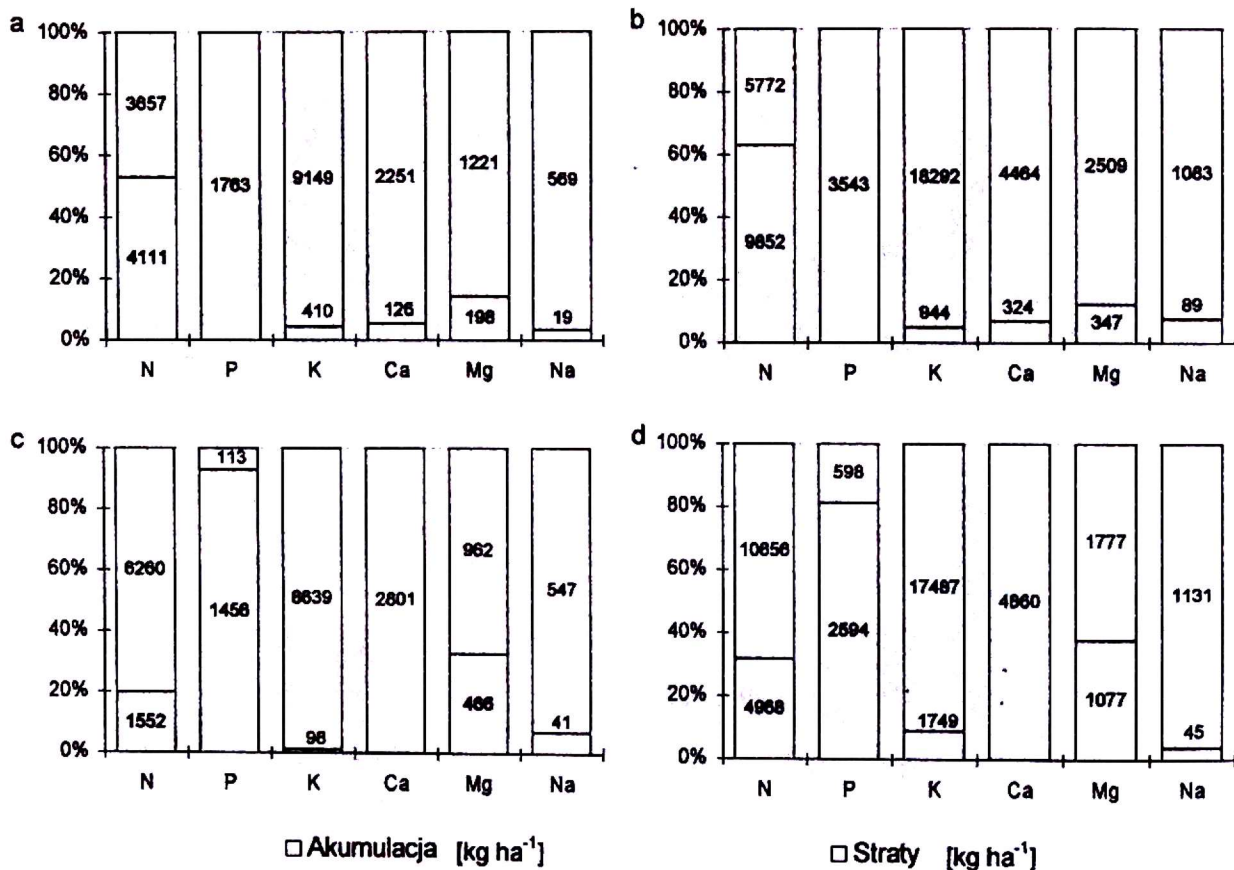


RYC. 4. Akumulacja składników w glebie i 104-letnim drzewostanie sosnowym: a – nienawadnianym ściekami, b – nawadnianym ściekami (600 mm)

warstwę korzenia się drzew, a jednocześnie tylko sporadycznie znajdujący jest ten pierwiastek w wodach gruntowych i to dopiero w ostatnich latach. Można sugerować, że możliwość wiązania potasu w glebie zmniejsza się w czasie i nastąpi moment gwałtownego odpływu tego składnika do wód. Podobnie w przypadku wapnia, mimo że jego zawartość w badanych glebach zarówno w postaci wymiennej, jak i ogółem jest mała, to odpływ jest znaczący. Nie uwidacznia się to jednak w zawartości tego składnika w wodach, jakkolwiek odnotowano duże różnice między wodą pobieraną ze studzienek zlokalizowanych w różnych miejscach oczyszczalni. Różnice te mogą być związane z różną zawartością wapnia w głębszych warstwach gleby.

Dyskusja

Ogólnie wiadomo, że podstawą funkcjonowania ekosystemów leśnych jest m. in. obieg składników w układzie: gleba – roślina – gleba. Obieg ten jest ciągle zaburzany przez różne czynniki, a zwłaszcza dopływ składników i ich odpływ ze środowiska leśnego. Zarówno dopływ, jak i odpływ może być zamierzony i niezamierzony, przykładowo dopływ z zanieczyszczonej atmosfery i wprowadzanie składników w postaci nawozów, ścieków itp., z kolei odpływ składników może następować z powodu wynoszenia ich wraz z substancją

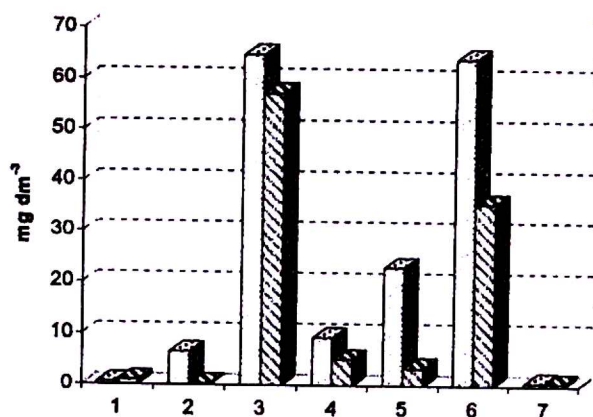
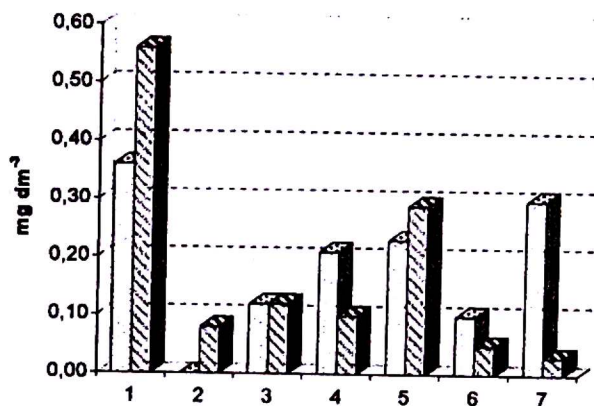
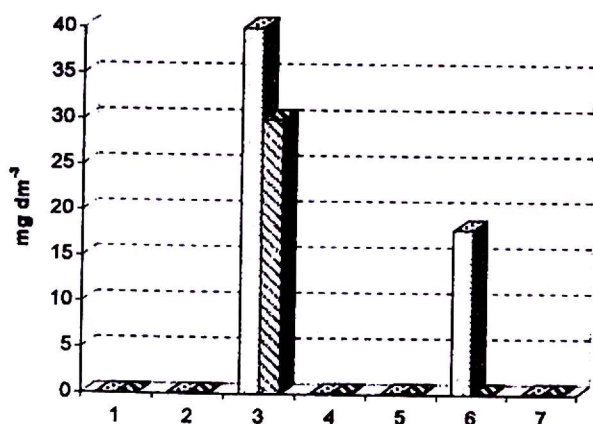
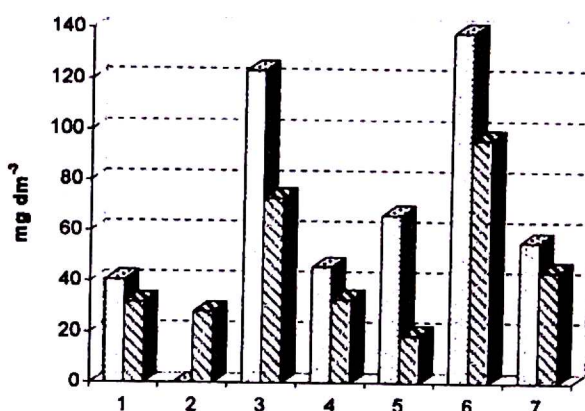
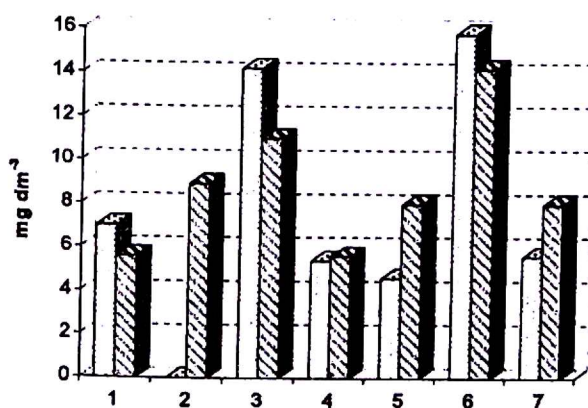
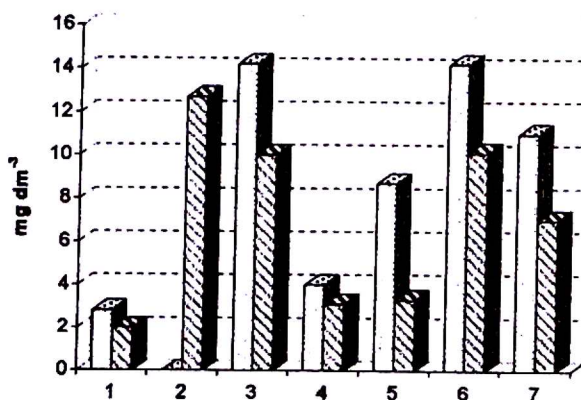


RYC. 5. Bilans składników [kg/ha] w glebach pod drzewostanami sosnowymi nawadnianymi ściekami; a – drzewostan 62-letni, 300 mm ścieków na rok, b – drzewostan 62-letni, 600 mm/rok ; c – drzewostan 104-letni, 300 mm/rok; d – drzewostan 104-letni, 600 mm/rok

organiczną (pozyskiwanie drewna, ziół, grzybów itp.), a także wskutek migracji wraz z krążącymi wodami. W tym ostatnim przypadku o ilości składników odpływających poza środowisko leśne decydują zachodzące w nim procesy oraz czynniki klimatyczne. Szczególne znaczenie ma zaburzenie równowagi w przemianie składników w układzie: składniki mineralne – substancja organiczna – składniki mineralne; inaczej mówiąc, zbyt mała retencja składników w drzewostanie w stosunku do ich ilości w postaci labilnej.

W literaturze można znaleźć prace na temat akumulacji składników w drzewostanach różnych gatunków i różnego wieku [2, 9, 10, 11, 16]. Prezentowane przez autorów wyniki można porównać z naszymi danymi tylko w części dotyczącej tzw. nadziemnej części drzewostanu (drzewo, runo, ściółka). Zapas składników w glebie natomiast w naszych badaniach obejmuje ogólną ich zawartość, a w większości prac autorzy podają ilości składników w formie wymiennej, rozpuszczalnej, mineralnej itp.

Mälkönen [1974] w 45-letnim drzewostanie sosnowym w masie około 58 tys. kg s.m./ha znalazł 108 kg azotu, 11 kg fosforu, 45 kg potasu i 50 kg wapnia. Miller i in. [1980] w 80-letnim drzewostanie sosny korsykańskiej stwierdzili akumulację w ilości 340 kg azotu, 36 kg fosforu, 200 kg potasu, 300 kg wapnia i 69 kg magnezu, a Bringmark [1977] w starszych drzewostanach sosnowych odpowiednio około N 170 kg/ha, P 17 kg/ha, K 80 kg/ha, Ca 80 kg/ha i Mg 17 kg/ha.

N-NO₃**P****K****Ca****Mg****Na**

□ 1994

▨ 1997

RYC. 6. Zawartość składników w wodach w rejonie oczyszczalni: 1 – z kontrolnej studzienki poza oczyszczalnią, 2 – z jeziora przy wlocie do zbiornika oczyszczalni; 3 – ze studzienek na oczyszczalni; 4 – z kontrolnej studzienki na terenie oczyszczalni; 5 – ze studzienki na skraju oczyszczalni; 6 – ze studzienki poza oczyszczalnią, ale na drodze przepływu wód gruntowych; 7 – ze studzienek przy ciekach wodnych w latach 1994 i 1997

Najbardziej porównywalne z wynikami naszych badań są dane Millera i in. [1980]. Wydaje się jednak, że większe możliwości porównania różnych danych uzyskanych w różnych drzewostanach, różnych warunkach klimatycznych i różnym czasie można uzyskać porównując wartości relatywne. Przykładowo, jeżeli wartość azotu przyjmiemy za 100, to stosunek pozostałych składników do azotu wynosi według danych literatury: dla fosforu ok. 10, potasu 40-60, wapnia 20-60, magnezu 10-20. W drzewostanach w Iławie w wariancie 0^{'''} stosunek badanych składników do azotu wynosi: dla fosforu ok. 10, potasu 21, wapnia 56, magnezu 10, a w wariancie nawadnianym "600 mm" odpowiednio: ok. 10, 33, 55 i 7. Można więc stwierdzić, że w badanych drzewostanach w wariancie "0" zakłócone są relacje między N i K, a po wieloletnim wprowadzaniu ścieków głównie relacja między N i Mg.

W literaturze można napotkać prace, w których analizowany jest, przeważnie fragmentarycznie, problem krążenia składników w środowisku leśnym. W warunkach europejskich stosunkowo obszernie na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych zajmowano się obiegiem składników w starszych drzewostanach świerkowych w stacji badawczej w Rajcu na terenie byłej CSRS [8]. Stwierdzono tam m.in., że suma składników zakumulowanych w drzewostanie wynosi około 133 keq/ha, a w glebie do głębokości 40 cm aż 4000 keq/ha. Rozpatrując te dane bardziej szczegółowo można odnotować, że w drzewostanie znajduje się około N 430 kg/ha, P 89 kg/ha, K 416 kg/ha, Ca 980 kg/ha i Mg 115 kg/ha i stanowi to w stosunku do ilości zakumulowanej w glebie odpowiednio 11%, 0,8%, 7%, 2,6% i 3-4%.

Jednocześnie obliczono, że w ciągu roku na powierzchnię 1 ha dopływa z atmosfery około 24 keq wszystkich składników, wśród których dominują azot (ok. 25 kg), wapń i magnez (po ok. 200 kg) i siarczany (S-SO₄ ok. 150 kg). Akumulacja składników w drzewostanie wynosiła łącznie ok. 11 keq/ha na rok, z czego mniej więcej połowa wracała do obiegu (igliwie, runo), a pozostała część była retencjonowana, co w przypadku wapnia wynosiło ok. 52 kg, potasu 26 kg, azotu 15 kg. Pozostałe badane składniki były związane w drzewostanie w ilości od 1 do kilku kg/ha na rok.

Odptyw składników mineralnych z drzewostanów świerkowych w Rajcu mierzono na podstawie ilości wody odpływającej z warstwy gleby miąższości 100 cm oraz zawartości poszczególnych składników w tej wodzie. Stwierdzono m.in., że każdego roku odpływało z powierzchni 1 ha około 430 kg wapnia i 220 kg S-SO₄, a także 40 kg azotu, głównie w postaci azotanów.

Podsumowując wyniki naszych badań, można odnotować, że drzewostany sosnowe w rejonie oczyszczalni ścieków w Iławie są znacznie mniej zasobne w składniki mineralne niż np. drzewostany świerkowe w Rajcu. Na podkreślenie jednak zasługuje, że na powierzchni nienawadnianej proporcje akumulacji składników w drzewostanie (drzewa, runo, ściółka) do ich zapasu znajdującego się w glebie, są zbliżone do uzyskanych w Rajcu (z wyjątkiem wapnia). Nasze gleby są szczególnie ubogie w wapń, nie dziwi więc fakt, że aż 40% zapasu tego składnika wchodzi do obiegu. Po nawodnieniu ściekami natomiast proporcje te ulegają zaburzeniu. Ogólnie, do drzewostanu wraz ze ściekami, przy dawce 300 mm, wnosimy rocznie na powierzchnię 1 ha około 80 keq składników, w czym 50% stanowi azot (560 kg), 21% potas (680 kg), po 10% wapń (170 kg) i magnez (100 kg), z tego w drzewostanie i glebie może być retencjonowane w najlepszym przypadku 30-40

keq/ha (38-50%), pozostałe 50-60% odpływa z drzewostanu. Dodać należy, że odpływają głównie: azot (300-400 kg/ha-r), potas (ok. 600 kg/ha-r), wapń (ok. 200 kg/ha-r) i magnez (ok. 80 kg/ha-r). Zwiększenie dawki ścieków powoduje zwiększenie ilości składników odpływających z drzewostanu.

Wyniki badań właściwości powietrzno-wodnych gleb badanych drzewostanów, jakkolwiek nie mogą być podstawą do obliczenia bilansu wodnego, wskazują jednak, że są to gleby bardzo przepuszczalne i o niskiej retencji. Stwierdzono m.in., że tzw. retencja użyteczna w warstwie gleby do głębokości 50 cm mieści się w granicach stosowanej dawki polewowej 30 mm, a współczynnik filtracji dla wody wynosi ok. 8-14 m/dobę [1]. Biorąc pod uwagę, że ścieki wprowadzane są w okresie późnojesiennym (spowolnienie vegetacji, a tym samym ewapotranspiracji), a także, że w okresie mniej więcej 130 dni wprowadza się dawkę 300 mm, można sugerować znaczący przepływ ścieków w głębsze warstwy gleby. Sugestię tę potwierdza m.in. duża zawartość azotanów w wodach gruntowych na terenie oczyszczalni. Z tzw. modelowego bilansu wodnego (Rajec) wynika, że z ogólnej ilości wody dopływającej do drzewostanu, około 15% odpływa do wód gruntowych. W naszych warunkach do drzewostanu nawadnianego dawką 300 mm dopływa około 600 mm wody opadowej, 300 mm ścieków i 280 mm wody, którą są nawadniane drzewostany, co w sumie wynosi około 1200 mm. Zakładając, że odpływ stanowi tylko 15% (można sugerować, że jest większy), to wynosi on około 180 mm, czyli mniej więcej połowę dawki ścieków. Porównując obliczone straty składników (ok. 50%) wnoszonych wraz ze ściekami z odpływem wód, można sugerować stosunkowo dużą zgodność między tymi szacunkami.

Wnioski

Straty, tj. przepływ poza strefę korzenienia się drzew, wynoszą rocznie około: N – 300 kg, K – 800 kg, Ca – 150 kg, Na – 20 kg, P – kilka kg.

Bilans składników w leśnej oczyszczalni ścieków w Iławie przeprowadzony w układzie: dopływ wraz ze ściekami – akumulacja w pokrywie roślinno-glebowej – przepływ poza warstwę głównego korzenienia się drzew wskazuje, że:

- W drzewostanie 60-letnim z ilości poszczególnych składników wnoszonych wraz z dawką ścieków 300 mm/rok akumuluje się prawie cała ilość fosforu, mniej więcej połowa azotu i od kilku do kilkunastu procent pozostałych składników. W drzewostanie stuletnim natomiast straty składników, tj. przepływ poza strefę korzenienia się drzew, w tym zwłaszcza azotu i wapnia, są jeszcze większe.
- Po nawadnianiu drzewostanu dawką ścieków 300 mm/rok, przepływ składników poza zasięg głównej masy korzeni drzew i w rezultacie do wód gruntowych wynosi około: N – 300 kg, K – 800-900 kg, Ca – 150 kg, Na – 20 kg, P – kilka kg.
- Zwiększonej dawce ścieków odpowiadają odpowiednio większe straty składników.
- Systematyczne wprowadzanie ścieków do środowiska leśnego powoduje zmiany struktury fizycznej powierzchniowej warstwy gleby, zaburzenie krążenia składników w ekosystemie oraz zanieczyszczenie wód gruntowych i powierzchniowych.

Literatura

1. **Brandyk T., Szatyłowicz J., Gnatowski T., Oleszczuk R., Karyłowski K.** 1997: Właściwości retencyjne i hydrauliczne gleby leśnej z obiektu leśnej oczyszczalni ścieków w Iławie. Dokumentacja naukowa, maszynopis w SPGW IBL, Warszawa.
2. **Bringmark L. A.** 1977: Bioelement budget of an old scots pine in Central Sweden. *Silv. Fenn.* v. 2, z. 3: 201-257.
3. **Dyguś K.** 1991a: Kierunki sukcesji roślinności w plantacjach drzew nawożonych ściekami ziemniaczanymi. *Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A*, 707: 253-260.
4. **Dyguś K.** 1991b: Wpływ ścieków ziemniaczanych o różnej koncentracji na runo boru świeżego. *Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A*, 708: 261-700.
5. **Dyguś K., Traczyk H.** 1995: Structural properties and herb layer production in the community of *Vaccinio uliginosi*-Pinetum. *Pol. Ecolog. Stud.* 21, 2: 213-221.
6. **Harmaciński W., Białkiewicz F.** 1991: Oczyszczanie w glebie i wykorzystanie ścieków ziemniaczanych w produkcji roślinnej. *Badania w małych lizymetrach. Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A*, 705: 219-233.
7. **Harmaciński W., Kukielska C., Białkiewicz F.** 1991: Możliwości oczyszczania i produkcyjnego wykorzystania ścieków ziemniaczanych ZPZ Iława w uprawach drzew. *Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A*, 706: 235-252.
8. **Klimo E.** 1992: Cycling of elements in the ecosystem of spruce monoculture. In: *Manmade Spruce Ecosystem (structure, functions, processes), Report from Rajec, Brno.*
9. **Mätkönen E.** 1974: Annual primary production and nutrient cycle in some scots pine stands. Helsinki, 5-71.
10. **Miller H. G., Cooper J. M., Miller I. D., Pauline G. L.** 1979: Nutrient cycles in pine and their adaptation to poor soils. *Can. J. Res.* 9: 19-26.
11. **Miller H. G., Miller I. D., Cooper J. M.** 1980: Biomass and nutrient accumulation at different growth rates in thinned plantation of corsican pine. *Forestry* 53: 23-39.
12. **Miśkiewicz N., Harmaciński W., Białkiewicz F.** 1991: Koncepcja rozwiązania gospodarki ściekowej przemysłu ziemniaczanego na przykładzie glebowo-roślinnej oczyszczalni ścieków ZPZ Iława. *Pr. Inst. Bad. Leś., Ser. A*, 709: 271-283.
13. **Ostrowska A.** 1981: Zasobność gleb w składniki pokarmowe i ich wykorzystanie przez sosnę w świetle oceny potrzeb nawożenia drzewostanów sosnowych. Warszawa, *PTG Va/40*: 1-100.
14. **Ostrowska A.** 1997: Krążenie składników w leśnej oczyszczalni ścieków w Iławie - metodyka. Dokumentacja naukowa, maszynopis w SPGW IBL, Warszawa.
15. **Szczubiałka Z.** 1981: Zawartość azotu i składników mineralnych w igłach jako podstawa oceny stanu zaopatrzenia sosny zwyczajnej (*Pinus silvestris* L.) w składniki pokarmowe. Praca doktorska, maszynopis SGGW-AR, Warszawa.

16. **Ulrich B.** 1971: Investigations on cycling of bioelements in forest of central Europe (preliminary results of the Solling project). In: Productivity of forest ecosystems. Proceedings of the Brussels Symposium, Unesco Paris: 501-507.

Summary

Circulation of elements in pine stands at the Forest Sewage Cleaning Facility of Itawa

After 14-year activity of the forest cleaning facility for potato processing sewage, located in pine stands of Itawa, an estimation was made for balancing elements in the inflow–accumulation–outflow system. The following data were the basis for the balance:

- Inflow of elements introduced annually (kg/ha) together with a sewage dose 300 or 600 mm,
- Plant mass (trees, ground cover, litter) and accumulation of elements in this mass on non-sprayed and sprayed surfaces,
- Soil mass down to 50 cm deep (Ofh, AE, Bv genetic layers) and the content of organic substance and mineral components in it.

The results show that:

- Almost entire amounts of phosphorus, about a half of nitrogen, and from some to a dozen or so percent of the remaining elements accumulated in the 60-year-old stand, as related to the total amount of individual elements introduced with the sewage dose of 300 mm/yr. However, the loss of elements, i.e. through-flow beyond the zone of tree rooting, was even greater in the 100-year-old stand, this being especially valid for nitrogen and calcium.
- After irrigation of the stand with a sewage dose 300 mm/yr, the through-flow of elements beyond the reach of the main mass of tree roots, and to ground waters in consequence, was for N: 300 kg, K: 800-900 kg, Ca: 150 kg, Na: 20 kg, and P.: few kg.
- Greater losses of elements corresponded to a increased dose of sewage respectively.

One can generally state that the inflow of elements with the sewage to the fresh-soil coniferous forest distorts the circulation cycle of elements in the forest environment, and it causes a pollution of ground waters.